

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

LENTOTUKIKOHDAN KUVAUSTIEDUSTELU TIEDUSTELUSATELIITILLA JA LENTOKONEELLA

Pro Gradu

Kadettikersantti
Saku Lipsonen

Kadettikurssi 91
Johtamisjärjestelmälinja

Maaliskuu 2008

ILMASOTAKOULU

Kurssi Ilmavoimien kadettikurssi 91	Linja Johtamisjärjestelmälinja
Tekijä Kadettikersantti Saku Lipsonen	
Tutkielman nimi Lentotukikohdan kuvaustiedustelu tiedustelusatelliitilla ja lentokoneella	
Oppiaine, johon työ liittyy Tekniikka	Säilytyspaikka MPKK Kirjasto
Aika 5.3.2008	<div>Tekstisivuja</div> <div>46</div> <div>Liitesivuja</div> <div>-</div>
<p>TIIVISTELMÄ</p> <p>Tutkimuksen tarkoitus on selvittää, voiko strategisiin tarkoituksiin suunnitellulla kuvaustiedustelusatelliiteilla korvata lentotiedustelun lentotukikohdan kuvaustiedustelussa.</p> <p>Satelliitti- ja lentotiedustelua verrataan toisiinsa sotilasjärjestelmän tehokkuuden mallin avulla. Järjestelmien suorituskyvyn arviointia varten luodaan mallitukikohta, jonka kohteiden havainnointia vertaillaan Johnsonin kriteeristön avulla.</p> <p>Tutkimuksessa kävi ilmi, että tiedustelujärjestelmät ovat yhtä suorituskukyisiä optimaalisissa olosuhteissa. Molemmilla järjestelmillä päästiin samantasoiseen havainnointiin lentotukikohdan kohteita kuvattaessa.</p> <p>Matalalentotiedustelu osoittautui kuitenkin korvaamattomaksi sääilmiöistä johtuen. Pilvisyys estää usein satelliittikuvauksen, mutta lentotiedustelulla voidaan kuvata paljon useammin. Vain erittäin vaikeat olosuhteet estävät lentotiedustelun.</p>	
<p>Avainsanat</p> <p>kuvaustiedustelu, satelliittitiedustelu, lentotiedustelu</p>	

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	1
1.1 Tutkimuksen aihe	2
1.2 Tutkimusongelmat	2
1.3 Tutkimusmenetelmät	2
1.4 Rajaukset	4
2 KUVAUSTIEDUSTELU	5
2.1 Resoluutio	5
2.2 Johnsonin kriteeristö	7
2.3 Erotuskyvyn merkitys	8
2.4 Kvantulkinta	9
3 KUVAUSTIEDUSTELUSATELLIITIT	11
3.1 Rakenne	11
3.1.1 Mekaaninen tukirakenne	11
3.1.2 Energiantuotto	11
3.1.3 Asennonsäätöjärjestelmä	12
3.1.4 Viestiyhteydet	12
3.1.5 Kuvausjärjestelmä	13
3.2 Kiertoradat	14
3.2.1 Low Earth Orbit (LEO) eli matalarata	14
3.2.2 Highly Elliptical Orbit (HEO) eli elliptinen rata	16
3.3 Tiedustelu kuvaustiedustelusatelliitilla	17
3.4 Esimerkkejä kuvaustiedustelusatelliiteista	17
3.4.1 Araks-kuvaustiedustelusatelliitti	17
3.4.2 KH-12-kuvaustiedustelusatelliitti	18
4. TIEDUSTELULENTOKONEET	20
4.1 Alusta	20
4.2 Sensorit	20
4.3 Tiedustelu lentokoneella	21
4.4 Esimerkkikalusto	22
4.4.1 Sukhoi-24MR	22
4.4.2 SR-71	23
5 TIEDUSTELTAVA KOHDE: GENEERINEN LENTOTUKIKOHTA	25

5.1 Tukikohdan alue ja yksiköt.....	25
5.2 Tukikohdan sijainti.....	26
5.3 Olosuhteet	27
5.3.1 Valoisuus.....	27
5.3.2 Pilvisyys	27
6 TUKIKOHDAN TIEDUSTELU: VERTAILU	29
6.1 Suorituskyky.....	29
6.2 Käytettävyys	31
6.2.1 Temporaalinen resoluutio.....	31
6.2.2 Järjestelmien käyttö ja riskit	35
6.3 Riippuvuus.....	37
6.4 Kustannusvaikutus	38
7 YHTEENVETO.....	40
7.1 Herkkyysanalyysi	43
7.2 Epätarkkuus.....	44
9 JATKOTUTKIMUSAIHEET	46

LÄHTEET

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1: Su-24MR

Kuva 2: SR-71

Kuva 3: Periaatekuva tiedusteltavasta lentotukikohdasta

Kuva 4: Sotilasjärjestelmän tehokkuus

Taulukko 1: Erilaisten kohteiden havainnointiin vaadittava resoluutio

Taulukko 2: Su-24MR suorituskyky

Taulukko 3: SR-71 suorituskyky

Taulukko 4: Johnsonin kriteeristön mukaiset havainnoinnin tasot spatiaalisen resoluution mukaan

Taulukko 5: Tiedustelukoneiden lentosuoritusten kestoja

Taulukko 6: Tiedustelutiedon viive tiedustelutehtävän antohetkestä tiedustelulentokoneilla

Taulukko 7: Kuvaustiedustelun mahdollistavat päivät eri järjestelmillä pilvisyyden mukaan

LENTOTUKIKOHDAN KUVAUSTIEDUSTELU TIEDUSTELUSATELLIITILLA JA LENTOKONEELLA

1 JOHDANTO

Nykyaikaisessa sodankäynnissä ilmakomponentin osuutta sotatoimissa pidetään erittäin suurena. Sen merkitys korostuu varsinkin strategisen iskun torjunnassa ja sodan alkuvaiheessa.

Suomen ilmavoimien päätehtävä sodan aikana on ilmapuolustus. Tätä tehtävää toteutetaan ilmavoimien kolmen pääjärjestelmän yhteistyöllä. Pääjärjestelmät ovat valvonta-, taistelu- ja tukeutumisjärjestelmä. Valvontajärjestelmän tehtävä on tuottaa tunnistettu ilmatilannekuva ja jakaa se tarvitsijoille, taistelujärjestelmä toteuttaa ilmavoimien voimankäytön ja tukeutumisjärjestelmä tuottaa valvonta- ja taistelujärjestelmän käyttöä ylläpitävät toiminnot.

Lentotukikohta kokonaisuutena edustaa kaikkia kolmea pääjärjestelmää. Se voi pitää sisällään torjuntahävittäjiä ja ilmatorjuntayksiköitä, valvontasensoreita ja hävittäjien aseistamisen ja tankkauksen mahdollistavaa kalustoa ja henkilöstöä. Tästä syystä lentotukikohdat ovat ilmapuolustuksen selkäranka.

Jotta meitä vastaan toimiva ilmavoima voi toimia tehokkaasti, sen täytyy hankkia täydellinen tai paikallinen ilmaherruus. Ilmaherruuden hankkimiseen liittyy usein vastapuolen ilmapuolustuksen lamauttaminen. Tästä syystä lentotukikohdat ovat hyvin todennäköisiä kohteita erilaisille iskuille sodan aikana. Onnistuneiden iskujen suorittamisen edellytyksenä on mahdollisimman kattava tieto kohteesta. Oikealla tiedolla isku voidaan mitoittaa oikein, havaita ja tunnistaa tärkeät maalit ja uhkat sekä arvioida iskun vaikutus lentotuki-

kohdan suorituskykyyn.

1.1 Tutkimuksen aihe

Tämän tutkimuksen aiheena on lentotukikohdan kuvaustiedustelu tiedustelusatelliitilla ja lentokoneella. Tiedustelutoimintaa tarkastellaan lentotukikohdan näkökulmasta.

Kuvaustiedustelulla voidaan selvittää lentotukikohdan suorituskykyä eli kykyä tuottaa lentosuorituksia ja näin tukea hävittäjätorjuntaoperaatioita. Lentotukikohdissa on usein myös ilmatorjuntayksiköitä ja valvontajärjestelmän osia. Toisaalta tiedustelevaa tahoa kiinnostaa lentotukikohdan rakenne ja mahdolliset maalit. Näiden tietojen pohjalta voidaan suunnitella ilmaiskuja tai muita hyökkäyksiä tukikohtaa vastaan. Tiedustelutiedon laatu ja määrä vaihtelevat riippuen tiedustelumenetelmästä.

Tutkimus perustuu pääasiassa Försvarets Forskningsanstalt:n, FOA:n (Ruotsin puolustusministeriön alainen tutkimuslaitos, nykyään Försvarets Forskningsinstitut, FOI) tutkimukseen tiedustelukuvien resoluution merkityksestä tiedonhankinnassa (Image resolution and information acquisition) ja kadetti Oskar Koukun kadettitutkielmaan Lennokki- ja matalalentotiedustelu Suomen ilmasto-olosuhteissa.

1.2 Tutkimusongelmat

Tämän tutkimuksen tarkoitus on selvittää periaatetasolla, voiko strategiaan tarkoituksiin suunnitellulla kuvaustiedustelusatelliiteilla korvata perinteisen uhkamallin mukaisen lentotiedustelun lentotukikohdan tiedustelussa. Lisäksi selvitetään mitä eroja lentokoneella ja satelliitilla suoritettavassa kuvaustiedustelussa ilmenee ja päästäänkö eroista huolimatta samaan lopputulokseen.

1.3 Tutkimusmenetelmät

Tutkimuksessa selvitetään kirjallisuustutkimuksen avulla perusteet kuvaustiedustelusta,

tiedustelulentokoneista ja kuvaustiedustelusatelliiteista. Tämän jälkeen luodaan geneerinen lentotukikohta erilaisine ominaisuuksineen. Tukikohdan mallissa pyritään tuomaan esille suomalaisia ominaispiirteitä. Kaikkia tukikohdan elementtejä ei voida käsitellä tietoturvasyistä.

Varsinaisessa tutkivassa vaiheessa verrataan matalalento- ja satelliittitiedustelua toisiinsa erojen selvittämiseksi. Järjestelmien vertaamiseen käytetään sotilasjärjestelmän tehokkuuden mallia. Sen mukaan sotilasjärjestelmän tehokkuus voidaan määrittää sen suorituskyvyn, käytettävyyden, riippuvuuden ja kustannusvaikutusten avulla. Tutkimuksessa verrattavat järjestelmät ovat hyvin erilaisia, joten niiden vertaamiseen käytettävän menetelmän tulee olla yleispätevä. Sotilasjärjestelmän tehokkuuden mallia on helppo käyttää ja sitä voidaan soveltaa molempiin tutkimuksessa käsiteltäviin järjestelmiin.

Vertailun painopiste on järjestelmien suorituskyvyn vertailussa. Tässä apuna on käytetty Johnsonin kriteeristöä. Kriteeristö on suhteellisen vanha ja muitakin vertailun välineitä on olemassa. Johnsonin kriteeristö on valittu tutkimuksen apuvälineeksi sen yksinkertaisuuden ja yleisyyden vuoksi. Käytettävyyttä verrataan tiedustelujärjestelmien ajallisen ulottuvuuden kautta. Järjestelmien riippuvuutta verrataan ilmaston vaikutusten eroilla eri järjestelmien suhteen.

Tutkimuksen teoriaosuuden lähdekirjallisuus on yleisesti tunnettua ja monet, varsinkin satelliittien ominaisuuksia käsittelevät lähteet, perustuvat fysiikan lakeihin. Tämän osalta lähdekirjallisuutta voidaan pitää luotettavana. Myöhemmin tutkimuksessa käytetään esimerkkejä erilaisista tiedustelujärjestelmistä. Koska oikeita arvoja ei ole käytettävissä, niiden suorituskyvyn liittyvät numeraaliset arvot ovat lähinnä internetistä kerättyjä. Niiden oikeellisuus voi olla kyseenalainen, mutta tarkoituksena ei olekaan esitellä järjestelmien oikeita suoritusarvoja vaan esimerkkejä, joiden avulla voidaan vertailla haluttuja järjestelmiä. Tiedonhakumenetelmän johdosta voidaan kuitenkin olettaa, että suorituskäykä kuvaavat arvot ovat ainakin oikean suuntaisia, koska suoritusarvoja on kerätty useasta eri lähteestä. Tutkimuksen esimerkeiksi on valittu arvoja, jotka esiintyvät useassa eri lähteessä samanlaisina. Mallitukikohdan luomisessa on käytetty apuna Tukikohtaopasta [28].

1.4 Rajaukset

Kuvaustiedustelua voidaan tehdä koko sähkömagneettisen spektrin alueella. Tässä tutkimuksessa käsitellään sähkömagneettisen spektrin näkyvän valon aluetta. Näkyvän valon alueen kuvat ovat yleisiä ja niitä on helpoin tulkita. Tällä alueella toimivia sensoreita on enemmän kuin muita ja näkyvän valon alueen tiedustelu on teknisesti helpoin toteuttaa.

Tutkimuksessa käsiteltävä lentotukikohta edustaa suomalaista mallia lentotukikohdasta. Lentotukikohtien kaikkia elementtejä ei ole otettu mukaan tutkimukseen tietoturvasyistä.

Tutkimuksessa ei käsitellä miehittämättömiä ilma-aluksia. Niiden käyttö on yleistynyt paljon, joten niiden suorituskyvyn oletetaan tutkimuksen tekemisen aikaan olevan hyvin lähellä miehitettyjen lentokoneiden suorituskykyä. Lennokkien käyttö ja kalusto on erilaista kuin konventionaaliseen matalalentotiedusteluun käytetyt lentokoneet. Lennokkien käytössä säällä ja etäisyyksillä on suurempi merkitys.

2 KUVAUSTIEDUSTELU

Tiedustelu tarkoittaa laajasti ottaen järjestelmän (ihminen, yritys, valtio, organisaatio yleensä) toiminnassa tarvittavan tiedon keräämistä, käsittelyä ja tulkintaa sekä jakamista päätöksenteon pohjaksi. Kuvaustiedustelu on tätä toimintaa erilaisten kuvien avulla. Kuvat voivat olla näkyvän valon alueelta olevia valokuvia tai videokuvaa, infrapunallaisimmalla otettuja lämpökuvia tai tutkaamalla tehtyjä kuvia.

Yleisin kuvaustiedustelussa käytetty kuva on näkyvän valon alueelta otettu valokuva. Näkyvän valon alueen tiedustelun etuina voidaan pitää hyvää resoluutiota muihin menetelmiin verrattuna. Lisäksi kuvat ovat helposti tulkittavissa, koska ne vastaavat ihmissilmän normaalia näköä. Haittana voidaan pitää pilvien, sumun tai savun vaikutusta tiedustelukykyyneen. Pimeällä ei myöskään voida tiedustella.

Valokuvia otetaan erilaisilla kameroilla. Ilma- ja avaruuskuvaamisessa käytetyt kamerat eroavat tavallisista lähinnä tarkkuudessa ja luotettavuudessa. Lisäksi kameroissa tulee olla kuvaliikkeen kompensattori, koska kuvaava alusta liikkuu kuvatessaan. Kuviin tehdään aina kameran toimesta myös reunamerkit ja kuvan keskipisteen ilmoittava kuvan pääpiste. Nämä helpottavat useiden kuvien käyttöä tehokkaaseen tiedonhankintaan. Satelliiteissa käytettävissä kameroissa tulee olla suurempi kuvakoko tai suurempi polttoväli kuin lentokonekameroilla etäisyydestä johtuen.

Digitaalisissa kameroissa kuva muodostetaan puolijohdeilmaisimille. Ilmaisimien koko rajoittaa kuvakokoa. Niinpä digitaalisessa kuvauksessa käytetään yhtä aikaa useaa kameraa kuvaamaan samaa aluetta. Näin pystytään kuvaamaan isompia alueita tarkasti. Lentokoneista kuvattaessa nykyaikaisilla järjestelmillä päästään 500 metrin korkeudesta noin 0.05 metrin erotuskykyyn (Vexcel:n UltraCam). Satelliiteilla arvioidaan parhaillaan päästävän noin 0,15 metrin erotuskykyyn 500 kilometrin korkeudesta.

2.1 Resoluutio

Resoluutio (=erotuskyky) tarkoittaa pienintä mahdollista erotettavaa yksityiskohtaa.

Konkreettisimmillaan se on rasterikuvan tapauksessa, jossa kuva koostuu tuhansista pienistä pikseleistä, joista kullakin on jokin arvo. Resoluutioita on neljää eri tyyppiä: spatiaalinen, spektraalinen, radiometrinen ja temporaalinen resoluutio.

Spatiaalinen tai geometrinen resoluutio tarkoittavat pienintä mahdollista yksityiskohtaa, joka kuvalta on erotettavissa. Spatiaalisen resoluution yksikkö on metri. Yleensä puhuttaessa resoluutiosta tarkoitetaan juuri spatiaalista resoluutiota, vaikka kohteen resoluutioon vaikuttavat myös muut tässä esiteltävät resoluutiot. Puhekielessä resoluutiolla tarkoitetaan yleensä pikselikokoa, joka on datan tekninen ominaisuus. Pikemminkin tulisi puhua erotuskyvystä, joka liittyy kuvauksen fysikaalisiin ominaisuuksiin. Spatiaalisen resoluution paraneminen kasvattaa informaation määrää, joten suuren resoluution omaavat kuvat ovat usein kuva-alaltaan pieniä.

Spektraalinen resoluutio tarkoittaa sitä sähkömagneettisen säteilyn aallonpituusjakamaa, jota kyseisessä kuvauksessa havainnoidaan. Spektraalisen resoluution määrää siis instrumentin herkistys säteilyn suhteen. Suureen spatiaaliseen resoluutioon kykenevät instrumentit ovat yleensä pankromaattisia, eli instrumentti on herkistetty koko näkyvän valon aallonpituudelle (400nm-700nm). Tarkka spektraalinen resoluutio taas saavutetaan kapealla taajuuskaistalla, tällöin kohteesta saadaan yksilöllistävämpää tietoa, kuin käyttämällä laajaa kaistanleveyttä. Kapean kaistanleveyden käytöstä seuraa helposti huono signaali-kohina suhde, mikä aiheuttaa radiometrisen erotuskyvyn huononemista.

Radiometrinen resoluutio tarkoittaa kuvauksessa käytössä olevien sävyjen määrää. Siis sitä, kuinka moneen eri arvoon taajuuskaista on jaettu. Satelliittikuvauksessa radiometrisen resoluutio on sekä havaintoinstrumentin, että tiedonsiirtojärjestelmän keskeinen ominaisuus. Radiometrisen resoluution yksikkö on bitti. Välttävä resoluutio saadaan aikaan 6 bitillä (64 sävyä kuvaelementtiä kohti), mutta tyydyttävä resoluutio edellyttää 8 bitin (256 sävyä) instrumenttia. Suuren resoluution kuvissa instrumentin sisäinen näytteenotto tehdään usein 11 bitillä.

Temporaalinen resoluutio tarkoittaa kuinka usein täsmälleen sama maastonkohta kuvataan uudelleen. Temporaalista resoluutiota nimitetään usein toistoksi ja sen yksikkö on

useimmiten päivä.

2.2 Johnsonin kriteeristö

Kuvaavan sensorin etäisyys asettaa sensorin optiikalle tiettyjä vaatimuksia. H_t kokoisesta kohteesta projisoituvan kuvan koko h_o saadaan kohteen etäisyyden R ja optiikan polttovälin f perusteella kaavasta:

$$\frac{R}{H_t} = \frac{f}{h_o} \Leftrightarrow h_o = \frac{fH_t}{R}$$

Valokuvan käytettävyys riippuu muun muassa siitä, kuinka ison kuvan kohde muodostaa ilmaisinmatriisille tai pyyhkäisevän sensorin muistimatriisiin. Jotta kuva olisi riittävän suuri tulkittavaksi, tulee optiikan polttovälin olla suuri. Tämä korostuu varsinkin avaruudesta kuvattaessa. Kohteesta tarvittavien kuvaelementtien määrä riippuu siitä mihin saatua kuvaa aiotaan käyttää. Jos tarkoituksena on vain havaita kohde, tarvitaan vähintään yksi kahden elementin jakso, jotta kohde erottuisi taustastaan. Kohteen tunnistamiseen ja yksilöintiin tarvitaan useampia jaksoja. Kahden ”kirkkaan” pisteen erottamiseksi toisistaan tarvitaan niiden väliin yksi ”tumma” piste. Tätä kirkkaan ja tumman pisteen muodostamaa paria kutsutaan jaksoksi. Yleisesti käytetään niin sanottua Johnsonin kriteeristöä, jonka mukaan kohteen:

havaitsemiseen tarvitaan 1 jakso (2 elementtiä)

tunnistamiseen tarvitaan 4 jaksoa (8 elementtiä)

yksilöintiin tarvitaan 7 jaksoa (14 elementtiä)

Havaitseminen tarkoittaa, että haluttu kohde erotetaan taustasta ja todetaan sen olevan läsnä, tunnistaminen tarkoittaa, että kohde tunnistetaan esimerkiksi lentokoneeksi ja yksilöinti tarkoittaa, että lentokone yksilöidään esimerkiksi torjuntahävittäjäksi. Havainnointiin vaikuttaa luonnollisesti kuvausjärjestelmän resoluutio (spatiaalinen, radiometrisen ja spektraalinen) eli optiikan ominaisuudet ja etäisyys, mutta myös kohteen ja sen taustan kontrasti.

Johnsonin kriteeristö perustuu kokeellisiin selvityksiin, joissa yllämainituilla rajoilla 50% ihmisistä tunnisti tai kykeni yksilöimään kohteen oikein. Käytännössä tarvittavien jaksosten määrä riippuu kohteen muodosta ja ihmissilmän osalta myös elementtien kontrastista taustaansa vasten [18].

Johnsonin kriteeristön määrittämät havainnoinnin tasot soveltuvat hyvin lentotukikohdan kohteiden tiedusteluun. Lentotukikohdassa on paljon maaleja, joilla on erilainen merkitys toisiinsa nähden. Tiedetyt kohteet ovat uhka hyökkääjälle, jolloin ne tulisi pystyä yksilöimään tehokkaan toiminnan takaamiseksi. Toiset kohteet ovat maaleja, joille riittää pelkä tunnistaminen.

2.3 Erotuskyvyn merkitys

Tiedustelusensorin erotuskyky on yksi sen tärkeimmistä ominaisuuksista. Se määrittää mitä tietoja sensorilla on mahdollista saada tiedusteltavasta kohteesta.

Försvarets Forskningsanstalt, FOA (Ruotsin puolustusministeriön alainen tutkimuslaitos, nykyään Försvarets Forskningsinstitut, FOI) on tutkinut resoluution merkitystä tiedustelukuvien tulkinnassa. Heidän tutkimuksessaan kuvattiin erilaisia kohteita kolmessa erilaisessa skenaariossa: lentokenttäalueella, rakennetulla alueella ja metsämaastossa. Kohteina oli ajoneuvoja, panssareita, lentokoneita, helikoptereita ja erilaisia rakennuksia. Tutkimuksessa etsittiin vaadittavaa spatiaalista resoluutiota erilaisten kohteiden Johnsonin kriteeristön mukaiseen havainnointiin. Tutkimuksessa huomioitiin myös kohteen taustan kontrasti kuvattavaan kohteeseen.

Seuraavassa taulukossa on lueteltu kokeellisia arvoja spatiaalisesta resoluutiosta ja erilaisten kohteiden havainnoinnista.

Taulukko 1: Erilaisten kohteiden havainnointiin vaadittava resoluutio [23]

Kohde	Tarvittava resoluutio metreinä		
	Havaitseminen	Tunnistaminen	Yksilöinti
Silta	6	1,5	0,9
Tutka	3	0,9	0,3
Lentokone (hävittäjä)	4,6	0,9	0,15
Tie	9	1,8	0,6
Materiaalivarasto	3	0,5	0,15
Ajoneuvo	1,5	0,3	0,05

Tutkimuksessa käsiteltiin monia muitakin maaleja, mutta taulukkoon on valittu lähinnä lentotukikohdasta löytyviä elementtejä.

Tutkimuksen tuloksia verrattiin McDonnell Douglasin julkaisemassa ” Reconnaissance Handy Book” –kirjassa esitettyihin tuloksiin. Tulokset olivat hyvin samanlaiset. Tätä lähdeä tutkija ei kuitenkaan ole saanut haltuunsa.

2.4 Kuvantulkinta

Sensorilla otettu valokuva ei itsessään ole tiedustelutietoa, vaan sen lähde. Jotta kuvasta saataisiin hyödyllistä tietoa, sitä tulee tulkita. Kuvien tulkinta on systemaattista tavoittehakuista toimintaa, jossa kuvan tulkitsija luo oman kokemuksensa avulla tiedustelutietoa. Tulokseen vaikuttaa tulkitsija, kohde ja kuvien laatu. [22]

Kuvien tulkinnassa yleensä helpoin osuus on kohteiden havaitseminen. Havaintojen tulkitseminen voi olla hyvinkin vaikeaa. Tulkinnassa tulee ottaa huomioon kohteiden koko, määrä ja laatu, jotta niistä voitaisiin tehdä oikeita johtopäätöksiä. Esimerkiksi parkkipaikka voi erehdyttävästi näyttää säännöllisesti kaavoitetulta asuinalueelta, jos näitä asioita ei oteta huomioon. Apunaan tulkitsijat käyttävät usein aikaisemmin samasta kohteesta otettuja kuvia ja niiden sanallisia kuvauksia sekä erilaisia karttoja. Näillä välineillä tulkitsija valitsee parhaat kuvat, tekee havainnot eri kohteista, tunnistaa ne ja tekee niistä johtopäätökset. Nämä tiedot liitetään osaksi muuta tiedustelutietoa, jonka perusteella teh-

dään päätöksiä.

Nykyään digitaalinen kuvaus on jo syrjäyttänyt perinteiselle filmille otettavat kuvat. Digitaalisen tietokoneella on helpompi tulkita digitaalisia kuin analogisia kuvia. Kuvien visuaalisia poikkeamia taustasta voidaan vahventaa ja alueita tunnistaa automaattisesti tietokoneen avulla. Digitaalisuus myös helpottaa datafuusiota, jossa voidaan yhdistää eri sensoreiden samasta kohteesta ottamia kuvia. Vastaavasti voidaan yhdistää myös eri aikoina otettuja kuvia toisiinsa. Tietokoneohjelmat helpottavat ja nopeuttavat kuvantulkintaa, mutta inhimillinen kuvantulkitsija tulee säilymään järjestelmissä varsinaisena tulokinnan suorittajana [3].

Tavoitteena lentotukikohtaa tiedusteltaessa on saada mahdollisimman hyvä kokonaiskuva tukikohdan suorituskyvystä ja toisaalta antaa pohjatietoa mahdollista iskua varten. Tukikohdasta havaitaan kohteet, jotka ovat mahdollisia maaleja ja mahdollisia uhkia. Toisaalta halutaan tietää, pystyykö tukikohta tiedusteluhetkellä tukemaan hävittäjätorjuntatoimintoja.

3 KUVAUSTIEDUSTELUSATELLIITIT

3.1 Rakenne

Satelliitti koostuu hyötykuormasta (payload) ja alijärjestelmistä (bus, subsystem). Hyötykuormalla tarkoitetaan instrumentteja kuten kameroita, tutkia, tietoliikenteen välitysjärjestelmiä tai signaalitiedusteluvälineitä, tässä tutkimuksessa siis näkyvän valon alueen kameroita. Alijärjestelmät puolestaan mahdollistavat satelliitin toiminnan. Ne vastaavat oikeasta kiertoradasta, sähköön ja liike-energian tuottamisesta, mekaanisesta tukirakenteesta ja kommunikoinnista maa-aseman kanssa.

3.1.1 Mekaaninen tukirakenne

Satelliitin tukirakenteen tehtävä on pitää satelliitti koossa ja toimia kiinnitysalustana muille osajärjestelmille. Rungolta vaaditaan paljon. Runkoon pitää hyötykuorman ja muiden laitteiden lisäksi suunnitella kiinnityspinnat myös laukaisujärjestelmille. Sen tulee kestää laukaisusta johtuva värinä, lämpövaikutukset ja radallaan avaruuden sekä painottomuuden aiheuttamat olosuhteet. Lisäksi sen tulee suojata satelliitin mukana kulkevia herkkiä instrumentteja. Esimerkiksi matalaradalla partikkeleiden nopeus iskeytyessään satelliittiin voi olla jopa 20 kilometriä sekunnissa [1]. Fyysisen kestävyysyden lisäksi pieni massa on eduksi. Materiaaleina käytetään erilaisia keraamisia, komposiitti- ja metalliosia. Runkorakenteeseen kuuluu yleensä olennaisena osana aktiivinen lämmönsiirtojärjestelmä, joka tasaa suuria lämpötilaeroja satelliitin eri osien välillä ja näin pienentää lämpölaajenemisen vaikutusta.

3.1.2 Energiantuotto

Satelliittien energiantarve voidaan jakaa kahteen eri osa-alueeseen: satelliitin asennon ja kiertoradan korjaamiseen ja ylläpitämiseen sekä sähköisten järjestelmien, kuten viestintä- ja tiedustelujärjestelmien toimintaan tarvittava energia. Asennon ja kiertoradan yl-

läpittämiseen käytetään yleensä erilaisia kemiallisia tai elektronisia moottoreita ja järjestelmien sähköntuotossa yleisimmin käytetyt vaihtoehdot ovat aurinkokennot energian varastointimenetelmiseen ja ydinreaktorit.

Kuvaustiedustelusatelliittien energian tarve ei ole kovin suuri. Kuvauslaitteet eivät vaadi paljon sähköä, joten aurinkokennot ovat varmin ratkaisu. Kuvaustiedustelusatelliittien kiertoradoista johtuen radan korjaamiseen vaadittava työntövoima on paljon suuremmassa roolissa. Mitä enemmän satelliitilla on massaa, sitä enemmän vaaditaan työntövoimaa ja sitä kautta polttoainetta, joka taas lisää massaa ja niin edelleen.

3.1.3 Asennonsäätöjärjestelmä

Asennonsäätöjärjestelmä on hyvin tärkeä osa kuvaustiedustelusatelliittia. Jotta kuvaaminen onnistuu, täytyy instrumenttien osoittaa jatkuvasti oikeaan suuntaan eli maahan. Asennon korjaaminen on helppoa moottoreiden avulla, mutta sensorit, jotka tunnistavat poikkeamat oikeasta asemasta ovat herkkiä ja kalliita järjestelmiä. Eniten käytettyjä sensoreita ovat magnetometrit (0,5-3), aurinkosensorit (0,1), tähtisensorit (0,0003) ja gyrokoopit (0,003-1) [25]. Suluissa on merkitty kunkin järjestelmän virhemarginaali asteina. Käytännössä kuvaustiedustelusatelliitit kuuluvat tarkan asennonmäärityksen vaativiin satelliitteihin, jolloin ne käyttävät näiden yhdistelmiä. Yleinen yhdistelmä on magnetometri ja aurinkosensori, koska ne mittaavat asentoa eri kohteista.

3.1.4 Viestiyhteydet

Satelliittien tiedonsiirtoyhteydet toimivat kuten maanpäälliset langattomat yhteydet, sillä poikkeuksella, että myös asema liikkuu. Koska satelliitti liikkuu, se voi lähettää niin kiinteille kuin liikkuville asemille.

Satelliittien tiedonsiirtojärjestelmät toimivat mikroaaltoalueella 2-30 gigahertsiä. Koska mikroaallot eivät läpäise kiinteitä esteitä, tulee asemien välillä olla näköyhteys (LOS). Tavallisesti satelliitit käyttävät kahta taajuusaluetta: yksi ylöspäin (uplink, maasta satelliittiin) ja toinen alaspäin (downlink, satelliitista maahan).

Suurin maa-aseman kanssa kommunikointiin vaikuttava seikka on satelliitin kiertorata. Geostationaarisella radalla toimivat satelliitit ovat hyvin korkealla, joten ne kärsivät suurista siirtoviiveistä muihin satelliitteihin verrattuna. Lisäksi suuri etäisyys vaikuttaa lähetystehon tarpeeseen.

Suurien taajuuksien tuottaminen ja lähettäminen vaativat paljon energiaa. Satelliitin sähköntuotto on rajallista, joten se käyttää alaspäin liikennöidessään pieniä taajuuksia. Toisaalta pienillä taajuuksilla voidaan lähettää vain pieniä määriä informaatiota. Näin ollen satelliitin tietoliikenteen käyttämät taajuudet ovat kompromissi energiankäytön ja tiedon siirron tehokkuuden välillä.

Matalaradalla eli LEO-radalla toimivat satelliitit eivät kärsi etäisyyden tuomista haitoista kuten GEO-radalla toimivat satelliitit. Siirtoviiveet ovat lähes olemattomat ja lähetystehoja voidaan pienentää entisestään. Tavallisimmin käytetään noin yhden gigahertsin taajuuksia. Haittana matalaradalla on satelliitin liike maanpintaan nähden. Suunnattavat antennit ovat monimutkaisia ja niitä on vaikea käyttää.

Satelliitin antennirakenteeseen vaikuttaa myös se miten satelliitti kommunikoi maa-aseman kanssa. Tietoa voidaan lähettää reaaliajassa, tallentaa nauhuriin ja lähettää saavuttaessa maa-aseman lähelle tai välittää tiedonvälityssatelliittien kautta. Satelliitin fyysinen koko rajoittaa välitystavan yhteen tai kahteen, jolloin antennit suunnataan tai rakennetaan suunnattavaksi niiden mukaan. Tarvittava kaistanleveys määrittelee myös antennin kokoa. Korkean resoluution kuvat vaativat suuria kaistoja ja suuria antenneja, koska informaation määrä niissä on suuri. Yksinkertainen bittitieto voidaan lähettää kaapeammallakin kaistalla.

3.1.5 Kuvausjärjestelmä

Passiivisiin kuvauslaitteisiin kuuluvat erilaiset optiset ja infrapuna-alueen kamerat. Ne kuvaavat kohdealuetta ja lähettävät tietonsa maa-asemalle tai vastaavasti tallentavat kuvat muistiin ja lähettävät kuvat käskystä tai seuraavana mahdollisena ajankohtana maa-asemalle. Optisten ja lähi-infrapuna-alueen ilmaisimien hyvänä puolena on niiden

hyvä erotuskyky. Ne vaativat kuitenkin kirkkaan sään, koska sade ja pilvet estävät mittauksen. Lähi-infrapuna-alueella on mahdollista kuvata pimeällä tai ohuen pilviverhon läpi, mutta resoluutio heikkenee tällöin huomattavasti. Teoriassa näkyvän valon alueella toimiva kuvaussatelliitti kykenee kirkkaalla säällä 10-15 senttimetrin resoluutioon. Tämä on pienimmän maanpinnalta erottuvan yksityiskohdan koko [27].

Kuvauslaitteisto itsessään ei vaadi satelliitin rakenteelta paljoa. Sen energian tarve ei ole suuri suhteessa esimerkiksi aktiivisiin kuvauslaitteisiin. Satelliitin varustaminen passiivisin kuvauslaittein mahdollistaa kohtuullisen suuren polttoainemäärän varaamisen. Polttoainetta tarvitaan myös enemmän kuin muissa satelliiteissa, sillä kuvien laadun vuoksi satelliitin täytyy toimia lähellä maanpintaa. Matalaradoilla polttoainetta kuluu paljon satelliitin pitämiseen oikealla radalla. Nämä seikat rajaavat satelliitin käyttöiän noin 5-7 vuoteen.

3.2 Kiertoradat

Yksi avaruuslaitteen suunnittelun tärkeimpiä perusteita on sen kiertorata. Kiertoradan ominaisuudet vaikuttavat voimakkaasti tekniseen suunnitteluun. Kiertoradan määrittää satelliitin tehtävä. Sotilaalliset kuvaustiedustelusatelliitit kiertävät useimmiten maata matalilla radoilla, jotta otettujen kuvien resoluutio olisi riittävä tiedustelun tarpeisiin. Rata voi olla lähes ympyrärata tai voimakkaasti elliptinen rata.

3.2.1 Low Earth Orbit (LEO) eli matalarata

LEO-satelliitit kiertävät maata noin 600-1100 kilometrin korkeudella lähes ympyrärataa pitkin. Tarkka rata määritellään ratakorkeudella, inkliinaatiokulmalla ja satelliitin kiertoaikalla maapallon ympäri. Ratakorkeus on satelliitin keskimääräinen korkeus maanpinnasta. Vaikka usein puhutaan ympyräradoista, eivät radat ole koskaan täydellisiä ympyröitä, vaan korkeus vaihtelee jatkuvasti. Inkliinaatiokulmalla tarkoitetaan satelliitin radan ja maapallon ekvaattoritason välistä kulmaa. Kiertoradan inkliinaatiokulma määrittää ne alueet, joilla pystytään kuvaamaan. Jos inkliinaatiokulma on alle 60 astetta, satelliitti ei lennä suoraan Suomen yläpuolelta. Tosin nykyaikaisilla kuvausjärjestelmillä pystytään

kuvaamaan, jopa 1000 kilometriä radasta sivuun, jolloin esimerkiksi maamme eteläosia pystytään kuvaamaan, vaikka radan inkliinaatiokulma ei olisi yli 60 astetta, mutta lähellä sitä. Kiertoaika on luonnollisesti yhteen kierrokseen käytetty aika. Se on suoraan verrannollinen ratanopeuteen.

kiertoaika (s):

$$T = \sqrt{\frac{4\pi^2 R^3}{GM}}$$

missä G = gravitaatiovakio ($6,668 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kgs}^2$)

M = maan massa ($5,977 \times 10^{24} \text{ kg}$)

R = radan säde (maan säde $r = 6370\,000 \text{ m}$ + ratakorkeus $h \text{ m}$)

Vaikka matalarata antaa parhaan resoluution kuvaustiedustelun näkökulmasta, se aiheuttaa myös ongelmia satelliitin suunnitteluun. Matalilla radoilla satelliitti joutuu kestämään suurta ilmanvastusta verrattuna korkeampiin ratoihin. Lisäksi näillä korkeuksilla avaruuspölyn määrä on suurimmillaan. Satelliitin tulee siis kestää eroosiota säilyttäkseen toimintakykynsä.

Maan vetovoima on sitä suurempi mitä lähempänä maapalloa ollaan. Matalaradalla kiertävä satelliitti joutuu siis taistelemaan myös vetovoimaa vastaan. Maan vetovoiman ja ilmanvastuksen takia satelliitti menettää jatkuvasti korkeutta. Tämän vuoksi rataa joudutaan korjaamaan säännöllisesti. Radan korjaaminen kuluttaa polttoainetta, polttoaineen kulutus lyhentää käyttöikää, lisäpolttoaine tuo lisää massaa, massa kasvattaa maan vetovoimaa ja niin edelleen.

Kun satelliitti kiertää maapalloa lähellä sen pintaa, sen kuvausalan peitto on pieni verrattuna korkeamman radan satelliitteihin. Vaikka alue on suhteellisen pieni, on päädytty käyttämään matalia ratoja resoluution vuoksi. Peittoaluetta suurennetaan tarvittaessa käyttämällä useampia satelliitteja tai muuttamalla satelliitin rataa. Satelliitin radan muuttaminen on kuitenkin harvinaista sen suuren polttoainekulutuksen takia. Pieni peittoalue vaikeuttaa myös datan lähettämistä maahan. Jotta satelliitin ottamat kuvat saataisiin

mahdollisimman nopeasti käyttöön, ne lähetetään usein korkeammilla radoilla kiertävien tietoliikennesatelliittien kautta maahan analysoitavaksi.

Radan jatkuva tarkkailu ja korjaaminen vaativat laajan valvonta- ja ohjausverkoston maan pinnalle.

Maan läheisyys aiheuttaa aurinkopaneeleilla varustetuille satelliiteille myös käyttöenergiaongelman. Satelliitti joutuu aika-ajoin maan pimeälle puolelle, jolloin sen aurinkopaneelit eivät pysty tuottamaan virtaa. Tällöin joudutaan käyttämään erilaisia akkuja ja varavirtalähteitä energian saannin turvaamiseksi.

Matalien ratojen etuja ovat pienet siirtoviiveet, pienet lähetystehot satelliitissa ja radalle saattamisen helppous.

3.2.2 Highly Elliptical Orbit (HEO) eli elliptinen rata

Voimakkaasti elliptinen rata on matalaradan erikoistapaus. Tällaisella radalla satelliitti on lähimmillään noin 480 kilometrin korkeudessa ja kaukaisimmillaan 39200 – 100000 kilometrin etäisyydellä maasta. Radan ellipsin koko määritellään radan apogeumilla ja perigeumilla. Apogeumilla tarkoitetaan radan kauimmaista ja perigeumilla lähimmäistä pistettä maasta katsottuna.

Elliptisen radan kiertoajan voi laskea kaavasta:

$$T = \sqrt{\frac{4\pi^2 a^3}{GM}}$$

missä G = gravitaatiovakio ($6,668 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg s}^2$)

M = maan massa ($5,977 \times 10^{24} \text{ kg}$)

a = ellipsin isoakselin puolikas

Satelliitit voivat viipyä pitkään tietyllä maapallon osalla ja pyyhkäistä nopeasti uudelle

kierrokselle. Tällaiset radat sopivat hyvin esimerkiksi kohdetiedusteluun.

3.3 Tiedustelu kuvaustiedustelusatelliitilla

Kuvaustiedustelusatelliitti kiertää maapalloa sille määritetyllä radalla. Satelliitti laukais-taan lähtökohtaisesti radalle, jolta se pystyy kuvaamaan kiinnostavia kohteita. Rauhan aikana satelliitit ovat radoilla, joilta ne kuvaavat jatkuvasti vastapuolen tärkeitä kohteita. Tarvittaessa ainakin osaa satelliiteista voidaan ohjata uusille radoille, mikäli tiedustelu-tietoa tarvitaan alkuperäisen kiertoradan ulottumattomista.

Tiedusteluorganisaatio päättää mistä kohteesta halutaan informaatiota. Tarvittaessa sa-telliitti ohjataan radalle, josta se kykenee kuvaamaan haluttua kohdetta. Satelliitille anne-taan kuvaustehtävä kohteesta. Kun satelliitti ylittää ja kuvaa kohteen se lähettää tiedot tulkittavaksi. Tarvittaessa tehtävää voidaan jatkaa niin, että satelliitti pysyy annetulla ra-dalla ja kuvaa kohteen usealla ylityskerralla tai sille voidaan antaa uusi tehtävä. Kierto-radan muuttaminen kuluttaa kuitenkin polttoainetta, joten sitä ei haluta tehdä turhaan. Periaatteena on, että satelliitti hankkii kaiken mahdollisen tiedon joka on saatavissa.

3.4 Esimerkkejä kuvaustiedustelusatelliiteista

3.4.1 Araks-kuvaustiedustelusatelliitti

Venäjän nykyaikaisin kuvaustiedustelusatelliittiprojekti on nimeltään Araks. Satelliitit tun-netaan myös nimellä Arkon. Viimeisin Araks-laukaisu on tapahtunut tiettävästi 25. hei-näkuuta 2002. Tällöin laukaistun satelliitin koodinimi on Cosmos 2392. Satelliitin on val-mistanut NPO Lavochkin.

Satelliitin rata poikkeaa tyypillisestä kuvaustiedustelusatelliitin radasta. Araks-satelliitin rata on tavallista korkeampi ollen noin 1400-1800 kilometriä korkea. Korkeampi rata aut-taa satelliittia pysymään kauemmin kohdealueen yllä ja näin ottamaan useampia kuvia yhdellä pyyhkäisyllä. Kuvausalueen koko maassa on noin 1000 neliökilometriä. Yhteen kuvaan saadaan noin 100 x 200 kilometriä kokoinen alue. Korkeudesta johtuen kuvien

resoluutio on noin 2-10 metriä. Satelliitti kykenee ottamaan noin 150 kuvaa vuorokaudessa. Kuvat lähetetään digitaalisena välityssatelliittien kautta maahan välittömästi kuvauksen jälkeen.

Satelliitti on kohtuullisen kevyt painaen vain 2600 kilogrammaa. Siinä on 27 metrin teleskooppi, joka voi kuvata näkyvän valon ja lähi-infrapun alueella. Elinikä Araksatelliiteille on arviolta 3 vuotta. Tosin kaikki sarjan aikaisemmat satelliitit ovat palvelleet suunniteltua pidempään.

Araks satelliitin arvellaan olleen suunniteltu matalammille radoille, joiden myötä myös kuvien resoluutio olisi parempi, mutta projektin rahoitusongelmien vuoksi Araksatelliitteja ei voitu valmistaa haluttua määrää. Niinpä kahden toimivan satelliitin kiertorataa muutettiin, jotta kuvaustiedustelukyky koko maapallolla säilytettäisiin. [9] [11] [15] [16]

3.4.2 KH-12-kuvaustiedustelusatelliitti

KH eli Key Hole on amerikkalainen kuvaustiedustelusatelliittijärjestelmä, jonka viimeisin versio on KH-12. Satelliiteista käytetään myös nimiä Advanced Key Hole tai Improved Crystal (edeltäjä KH-11, Crystal). Järjestelmään kuuluu 3-5 satelliittia lähteestä riippuen. Viimeisin radalle saatettu KH-12 satelliitti koodinimeltään USA 161 laukaistiin 5.10.2001. (mahdollisesti myös 19.10.2005)

KH-12 satelliittia on kuvailtu Hubble avaruusteleskoopiksi moottoreilla. Satelliitti toimii näkyvän valon, lähi-infrapuna- ja infrapuna-alueella. Nämä ominaisuudet mahdollistavat näkyvien kohteiden kuvaamisen lisäksi naamioitujen ja maanalaisten kohteiden kuvauksen. Lisäksi lämpökamera kertoo onko esimerkiksi jokin tuotantolaitos aktiivinen vai ei. Resoluutio satelliitin ottamille kuville vaihtelee 10–15 senttimetrin välillä lähteestä riippuen. Kuvat välitetään reaaliaikaisesti maa-asemille Milstar-tiedonsiirtosatelliittien kautta.

KH-12 satelliitissa on pyörivä kuvauslaitteisto, joka mahdollistaa joustavamman kuvien ottamisen. Kuvia voidaan ottaa myös sivusuuntaan valitusta kiertoradasta, jolloin kierto-

rataa ei tarvitse korjata niin usein ja polttoainetta säästyy. Kuvauslaitteiston arvioidaan olevan noin 4-4,5 metriä halkaisijaltaan ja runko lisäksi 15 metriä pitkä. Satelliitti on siis hyvin suuri ja massaa arvioidaan olevan 18 000–19 600 kilogrammaa. Valmistaja Lockheed Martin Space Systems ilmoittaa, että satelliitti on ulkoisesti vahvennettu kestämään ydinaseen ja laserin vaikutuksia. Tämä osiltaan selittää satelliitin suurta massaa.

KH-12 satelliitti toimii LEO-radalla ja on korkeimmillaan noin 1000 kilometrin ja alimmillaan 500 kilometrin korkeudessa. Kiertoaika on noin kaksi tuntia. Elinikä on LEO-radalle tyypillinen 3-7 vuotta suuresta massasta huolimatta.

KH-12 on kokonaisuutena viimeisintä teknologia edustava kuvaustiedustelusatelliitti, jonka käyttö on hyvin monipuolista ja joustavaa nopeasta ratakierrosta johtuen. Jokainen järjestelmän satelliitti pystyy kuvaamaan viiden sekunnin välein. Näillä ominaisuuksilla saavutetaan tehokas koko maapallon kattava kuvaustiedustelukyky. Järjestelmän kokonaiskustannuksien on arvioitu olevan yli 2 miljardia dollaria. [5] [12] [27]

4. TIEDUSTELULENTOKONEET

Ensimmäiset tiedustelulentokoneet olivat tavallisia lentokoneita, joihin otettiin muistilehtiö ja kamera mukaan. Nykyään strategiset tiedustelukoneet ovat erityisesti tiedusteluun varusteltuja ja suunniteltuja. Niissä ei yleensä ole aseita, pommeja tai ohjuksia. Taktiset tiedustelulentokoneet ovat hävittäjä tai rynnäkkökoneita, jotka on varusteltu tiedustelun tarpeisiin. Niissä voi olla omasuojaksi joitakin asejärjestelmiä.

Strategisia tiedustelukoneita voidaan käyttää hyvin kohteen, kuten lentotukikohdan, tiedusteluun, joskin niillä on usein enemmän kuin yksi kohde. Taktisilla tiedustelukoneilla on toimintaetäisyytensä puitteissa vähemmän kohteita, mutta esimerkiksi lentotukikohdan tiedustelu voi olla yksin taktisen tiedustelukoneen tehtävä.

4.1 Alusta

Useimmat taktiset tiedustelukoneet ovat tunnettujen hävittäjien tai rynnäkkökoneiden muunnosmalleja. Näin koneelle saadaan hyvä suorituskyky lentämiseen liittyen. Varsinaisia tiedustelukoneita rakennetaan vain strategisen tiedustelun tarpeisiin [3]. Tiedustelukaluston sijoittaminen koneeseen sulkee usein pois asejärjestelmien tarvitseman tuen. Tästä johtuen tiedustelukoneissa on yleensä vain omasuojajärjestelmiä mahdollisen hyökkäyksen varalle. Selviytymisessä luotetaan lentokoneen nopeuteen ja kykyyn lentää matalalla. Strategiset tiedustelukoneet lentävät hyvin korkealla ja lujaa. Nekin sisältävät usein omasuojajärjestelmiä, mutta eivät varsinaista aseistusta.

Ilmaoperaatioissa voidaan osa koneista varustaa tiedustelusensorilla, mutta tällöin ei yleensä puhuta tiedustelukoneista, vaan operaation tehtävätuesta.

4.2 Sensorit

Tiedustelukoneeseen kuuluu yleensä monia eri sensoreita mahdollisimman täydellisen tiedon saamiseksi. Koneessa voi olla esimerkiksi sivuviistotutka (SLAR, Side Looking

Aperture Radar), useita kuvauslaitteita, infrapunailmaisimia, elektronisen tiedustelun välineitä, säätiedontallennuskalusto ja säteilyntiedustelukyky. Tiedustelukaluston kehitys on mahdollistanut erilaisten tiedusteluinstrumenttien sijoittamisen säiliöihin, joita voidaan asentaa erilaisiin lentokoneisiin, kuten hävittäjiin tai rynnäkkökoneisiin. Yksittäisinä nämä yleensä täydentävät tiedustelua operaation aikana. Varsinaiset tiedustelukoneet tekevät kattavampaa tiedustelua monella eri osa-alueella, joten säiliöitä voi olla useampia ja aseiden käyttö vaikeutuu.

4.3 Tiedustelu lentokoneella

Tässä kappaleessa käsitellään tiedustelulennon suorittamista. Sen peruseriaatteen on saatu suomalaisesta doktriinista, jonka kuitenkin arvelen olevan pääpiirteiltään sovellettavissa minkä tahansa tiedustelulentoja tekevän yksikön toimintatapoihin.

Tiedustelulentoja suorittava yksikkö ei todennäköisesti johda ilmaoperaatioita tai vastapuolen tiedustelua, joten se saa tiedustelulentehtävän ilmaoperaation tiedustelutiedosta tai yleensä tiedustelusta vastaavalta organisaatiolta. Tiedustelutehtävässä määritellään tiedusteltava kohde ja tiedustelukysymys tai kysymykset. Tiedustelukysymyksen on tarkoitus helpottaa kuvien tulkitsijoiden ja ohjaajan toimintaa. Lentotukikohdan tiedustelukysymys voisi olla esimerkiksi ”Pystyykö tukikohta tuottamaan lentosuorituksia?” ja alakysymyksinä voisi olla esimerkiksi tukikohtaan tukeutuvien koneiden määrä ja laatu.

Seuraavassa vaiheessa suunnitellaan tiedustelulento. Suunnittelu tehdään parhaan mahdollisen tiedustelutiedon näkökulmasta. Ensin suunnitellaan kuvaustapa ja korkeus jolta kuvaus suoritetaan. Tähän vaikuttavat olennaisesti kohteen koko ja sää kohteella. Lisäksi on suunniteltava helposti suunnistettava reitti kohteelle ja suunta josta kohdetta tulisi lähestyä. Tiedustelutehtävässä on myös usein määritelty aika, jolloin tiedustelun tulisi tapahtua. Lento tulee suunnitella myös sen mukaan.

Koska kohdetta pitää pyrkiä lähestymään siten, että tiedustelija havaittaisiin vihollisen toimesta mahdollisimman myöhään tai parhaassa tapauksessa ei ollenkaan, on kohdetta lähestyttävä erittäin matalalla ja radiohiljaisuudessa [2]. Itse kuvaus ei kuitenkaan ole mahdollista niin matalalta kuin mitä lentokorkeus on lähestyttäessä kohdetta.

Suunnittelutyö tulee tehdä huolella. Tiedustelulento on todennäköisesti yksittäissuoritus. Kun kuvaava kone havaitaan, viimeistään tukikohdan yllä, ilmatorjunnan valmiutta nostetaan ja riskitaso nousee jo ensimmäisessä ylityksessä. Toinen ylitys olisi tiedustelukoneelle todennäköisesti kohtalokas.

Lennon valmistelu kestää noin 1 tunnin. Ajan on laskettu alkavan tiedustelupyynnön saapumisesta kuvatulville siihen kun lentokone nousee ilmaan.

Tiedustelulennon ja satelliittitiedustelun erona voidaan pitää tiedustelun toteutustapaa. Satelliitti ohjataan kohteen ylle ja kerätään kaikki mahdollinen tieto, josta pyritään tekemään johtopäätöksiä. Lentotiedustelulla on yleensä tarkka tiedustelutehtävä ja tiedustelukysymys, jota pyritään selvittämään lentosuorituksella.

4.4 Esimerkkikalusto

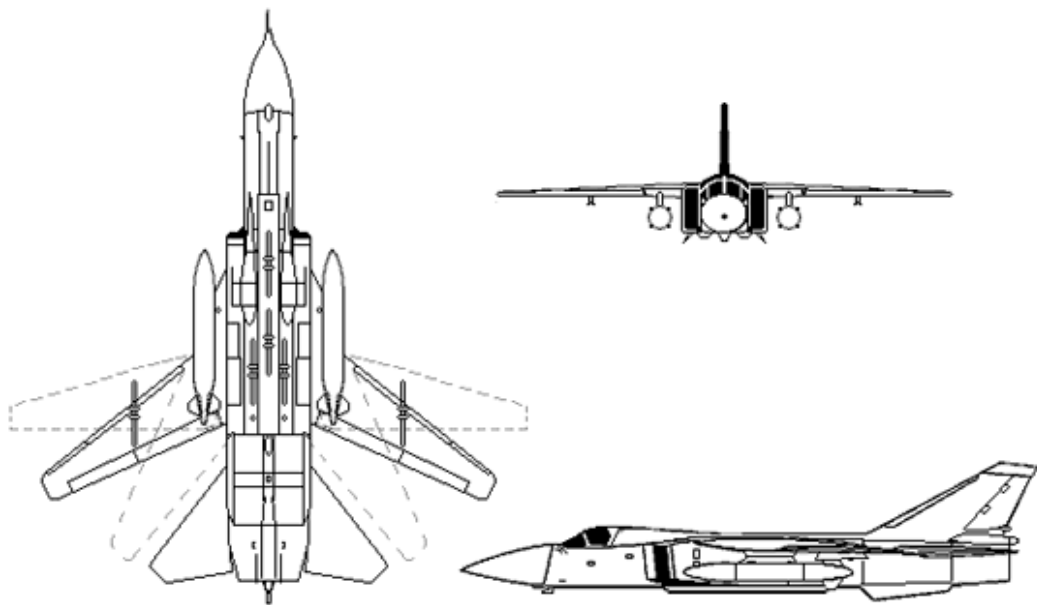
4.4.1 Sukhoi-24MR

Yksi venäläisten käyttämistä taktisen lentotiedustelun koneista on Sukhoi-24 rynnäkkökoneen muunnosmalli Su-24MR. Koneessa on kiinteästi asennettuna ainakin maastonseurantatutka ja alkuperäisestä rynnäkkökoneesta poiketen tykin ja pommitustutkan sijasta 2 panoraamakamerajärjestelmää, RDS-BO Shtik (Bayonet) sivuviistotutka (SLAR) ja Zima (Winter) infrapuna-alueen tiedustelujärjestelmä. Muut sensorit ovat säiliöasenteisina. Koneeseen voidaan asentaa ainakin elektronisen tiedustelun, sään- ja säteilyn tiedustelun mahdollistavaa kalustoa.

Kuvausjärjestelmän arvellaan kykenevän noin 5 cm resoluutioon optimikorkeudelta (200m)

Taulukko 2: Su-24MR suorituskyky

Maksiminopeus	1320 km/h matalalla (200 m) 2240 km/h korkealla
Toimintaetäisyys	560-1250 km (riippuu lentoprofiilista ja lisä- tankeista)
Maksimikorkeus	17000 m



Kuva 1: Su-24MR

[7] [10] [13]

4.4.2 SR-71

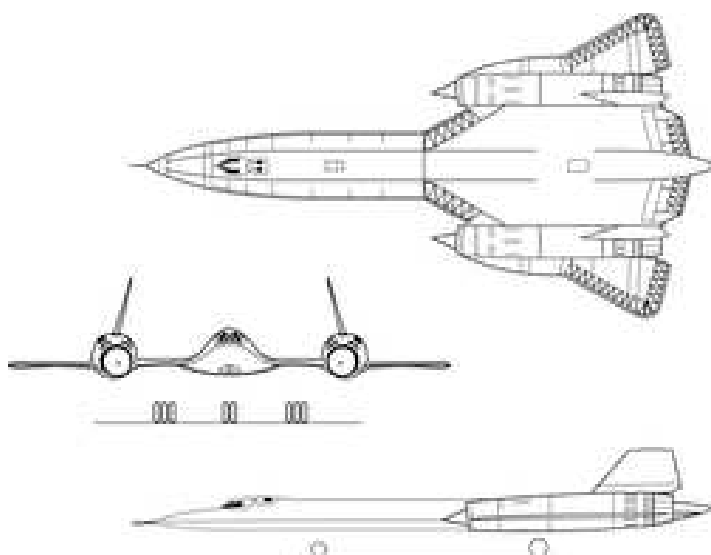
Lockheed SR-71, epävirallisesti "Blackbird", oli yhdysvaltalainen strateginen tiedustelulentokone. Koneen tyyppimerkinnässä lyhenne SR tuli sanoista Strategic Reconnaissance, eli strateginen tiedustelu. Sen nopeus ylitti virallisesti 3,3 kertaisesti äänen nopeuden.

SR-71 rakennettiin sen jälkeen kun hyvin korkealla lentävät U-2 tiedustelukoneet pystyttiin torjumaan ilmatorjuntaohjuksilla. Suuren lentokorkeutensa ja nopeutensa ansiosta yhtäkään SR-71-konetta ei ole raportoitu pudotetuksi.

Koneen tiedusteluvarustukseen kuului optisen ja lähi-infrapuna-alueen järjestelmien lisäksi elektronisen tiedustelun järjestelmiä ja sivuviistotutka. Koneen omasuojana käytettiin elektronisia järjestelmiä. Näkyvän valon alueen kuvausjärjestelmän arveltiin kykenevän 6 tuuman (≈ 15 cm) spatiaaliseen resoluutioon 83 000 jalan (≈ 25300 m) korkeudesta.

Taulukko 3: SR-71 suorituskyyky

Maksiminopeus	4 062 km/h (3.35 Mach)
Normaali lentokorkeus	25 908 m
Maksimikorkeus	30 480 m
Lentomatka	5 450 km (ilman välitankkausta, ilmatankkaus mahdollinen)



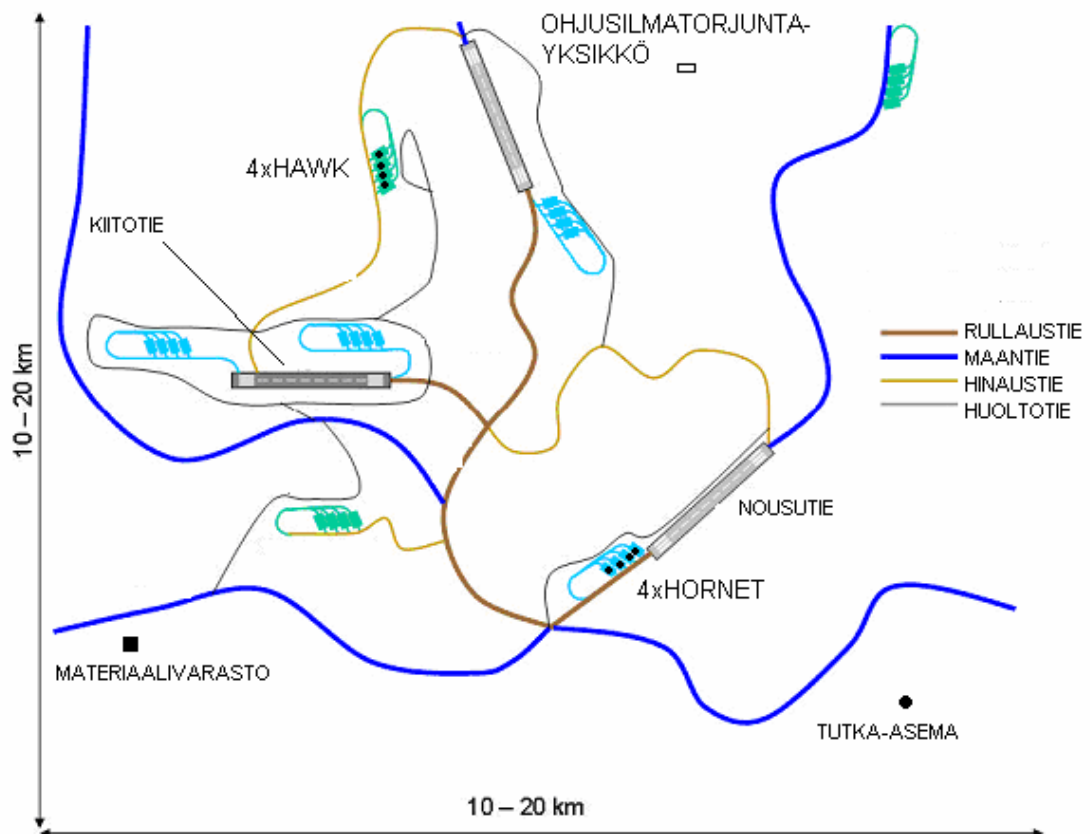
Kuva 2: SR-71
[6] [8] [14] [17]

5 TIEDUSTELTAVA KOHDE: GENEERINEN LENTOTUKIKOHTA

Jotta lentokoneen ja satelliitin kuvaustiedustelukykyä voitaisiin verrata toisiinsa, luodaan tutkimusta varten malli suomalaisesta lentotukikohdasta. Tätä yksinkertaista mallia käytetään verrattaessa eri järjestelmien kykyä seuraavassa luvussa.

5.1 Tukikohdan alue ja yksiköt

Malliin kuvataan kuvan mukainen lentotukikohta



Kuva 3: Periaatekuva tiedusteltavasta lentotukikohdasta [28].

Lentotukikohdan malliin on valittu seuraavat kohteet:

- ohjusilmatorjunnan yksikkö kuorma-auto alustalla
- 4 Hawk harjoitushävittäjää
- 4 F-18 torjuntahävittäjää
- tutka-asema
- ilmataisteluvälinemateriaalivarasto
- tukikohdan kiito-, nousu-, rullaus- ja huoltotiet

Malliin on pyritty ottamaan elementtejä kaikista kolmesta ilmavoimien pääjärjestelmästä.

Ilmatorjuntayksikkö ja hävittäjät edustavat mallissa tukikohdan voimaa käyttäviä yksiköitä eli taistelujärjestelmää. Ilmatorjunta suojaa tukikohtaa mahdollisilta hyökkäyksiltä ulottaen torjuntakykynsä etupainotteisesti hyökkääjän suuntaan. Hawk harjoitushävittäjät kuvaavat tukikohdan lähipuolustusta hävittäjäyksiköin ja torjuntahävittäjät koko valtakunnan alueelle ulottuvaa hävittäjätorjuntaa.

Tutka-asemalla halutaan tuoda esiin ilmavoimien valvonta- ja ennakkovaroituskykyä eli valvontajärjestelmää. Tutkat mahdollistavat oikea-aikaisen reagoinnin vastapuolen ilmaoperaatioihin ja ovat erittäin todennäköisiä maaleja alkuvaiheen ilmaiskussa.

Tukikohdan kiito-, nousu-, rullaus- ja huoltotiet sekä ilmataisteluvälinemateriaalivarasto edustavat tukikohdan fasiliteetteja eli tukeutumisjärjestelmää. Ilman näitä elementtejä ei kokonaisvaltaista ilmapuolustusta voida toteuttaa. Hävittäjät ovat hyödyttömiä ilman ohjuksia tai kiitoteitä, joilta ne voivat nousta ilmaan.

5.2 Tukikohdan sijainti

Tukikohdasta luotu malli sijaitsee sisämaassa Etelä-Suomessa. Tarkempaan määrittelyyn ei ole mielekasta ryhtyä. Sijainnin merkitykseen on mallissa otettu kantaa lähinnä tiedustelulentoja suorittavien vastapuolen tukikohtien ja oman tukikohdan välimatkan kannalta. Mallitukikohtamme läheisyydessä on kolme tukikohtaa, joista voidaan suorittaa tiedustelulentoja omaa tukikohtaamme vastaan. Vastapuolen tukikohdat nimetään kirjaimilla A-C ja seuraavassa on lueteltuna etäisyydet kyseessä olevista tukikohdista

omaan tukikohtaan:

Tukikohta A – 800 km

Tukikohta B – 500 km

Tukikohta C – 200 km

Tukikohtaa käytetään strategisen iskun ennaltaehkäisyyn ja torjuntaan, jolloin sen reagoitajan tulee olla lyhyt. Jotta tämä saavutettaisiin, tulee tukikohdan sijaita hyökkääjän suunnassa lähellä rajaa. Tutkimuksen esimerkkitukikohdan ja valtakunnan rajan välillä on ainoastaan 100 kilometriä.

5.3 Olosuhteet

Mallitukikohdan ilmasto-olosuhteet noudattavat Etelä-Suomen keskiarvo-olosuhteita.

5.3.1 Valoisuus

Valoisuus muuttuu Suomessa merkittävästi sekä alueellisesti, että vuodenaikojen mukaan. Valoisinta on kesällä, jolloin valoisaa on 17 - 22 t/vrk. Vastaavasti talvella on pimeintä, jolloin valoisaa on 4 - 6 t/vrk. Vastaavat arvot syksyllä 9 - 10 t/vrk ja keväällä 15 - 16 t/vrk. Kyseiset tiedot ovat vaihteluväli koko Suomessa. Lapissa on tosin kesä-heinäkuussa 3 - 4 viikon jakso, jolloin on valoisaa ympäri vuorokauden. Vastaavasti joulutammikuussa siellä on muutamien päivien jakso, jolloin aurinko ei nouse lainkaan, eli valoisuus on nolla t/vrk. [21]

5.3.2 Pilvisyys

Pilvisyyttä tilastoidaan yleensä pilvien määrän mukaan. Pilvisyys havaitaan taivaan 8-osina käyttäen koodilukuja 0-8. Tällöin on tarkasteltu pilvien kokonaismäärää, eli kokonaispilvisyyttä. Pilvisyysoloja tarkastellaan usein myös niin sanottuja selkeitä ja pilvisiä päiviä vertailemalla. Päivän on määriteltävä olevan selkeä, mikäli päivän aikana havaittujen

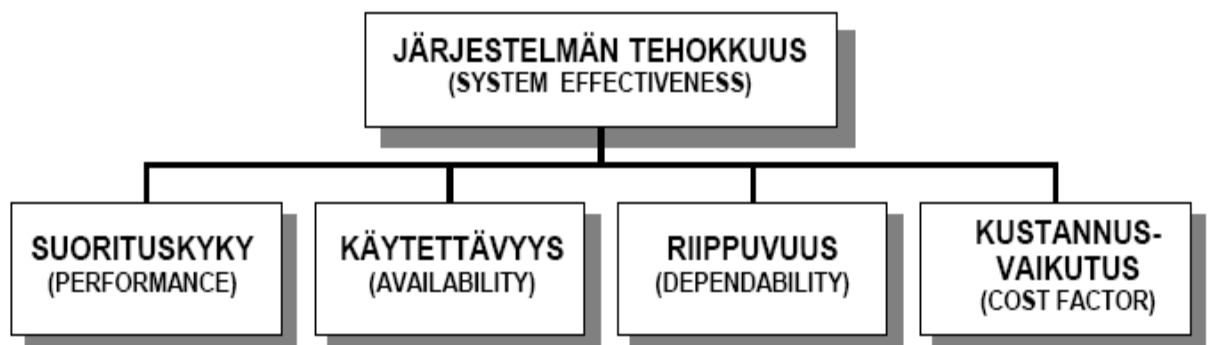
pilvisyyyslukujen summa on neljä tai vähemmän. Pilvistä taas on jos summa on 20 tai enemmän.

Lentotoiminnan kannalta merkitsevää on, mikäli pilvisyys ylittää 4/8, jolloin lentäminen näkölentosäännöin on rajoittunutta. Tilastojen mukaan Etelä-Suomessa on pilvistä jollakin korkeudella noin 150 päivänä ja Pohjois-Suomessa noin 175 päivänä. Pilvisyys heikentää lentokoneen kuvausmahdollisuuksia, jos pilvikorkeus on alle 300 metriä. Tällöin lentosuoritus voidaan toteuttaa vain rajoitetusti. Tässä tutkimuksessa todetaan alle 300 metrin pilvikorkeuden estävän tiedustelulentosuorituksen. Syksyllä ja talvella pilvikorkeus on alle 300 metriä 30–40 % sekä keväällä ja kesällä 10–20 % pilvisistä päivistä koko Suomessa.[4]

Tiedusteluun vaikuttaa näiden kahden lisäksi moni muukin ilmastoon liittyvä ilmiö. Sade, sumu, tuuli ja lämpötila voivat vaikeuttaa varsinkin tiedustelulentoja. Nämä ilmaston elementit korreloivat kuitenkin voimakkaasti kahteen edellä mainittuun ilmiöön, varsinkin pilvisyyteen. Tämän ja tilastojen monimutkaisuuden ja epäluotettavuuden vuoksi olosuhteita käsitellään ainoastaan kahden edellä mainitun suhteen.

6 TUKIKOHDAN TIEDUSTELU: VERTAILU

Tässä kappaleessa vertaillaan lentotiedustelua ja satelliittitiedustelua toisiinsa eri osa-alueilla. Vertailuun käytetään sotilasjärjestelmän tehokkuuden arvioinnin mallia [18]. Sen mukaan sotilasjärjestelmän tehokkuutta arvioidaan neljän eri osa-alueen kautta. Arvioitavat osa-alueet ovat järjestelmän suorituskyky käytettävyys, riippuvuus ja kustannusvaikutus. Vertailussa käytetään aikaisemmissa kappaleissa esiintyneiden esimerkkijärjestelmien suoritusarvoja.



Kuva 4: Sotilasjärjestelmän tehokkuus [18]

6.1 Suorituskyky

Seuraavassa on vertailtu eri järjestelmien suorituskykyä spatiaalisen resoluution kautta mallitukikohdan kuvaamisessa. Taulukkoon on kerätty tukikohdan kohteet ja esimerkkijärjestelmät. Sen jälkeen on verrattu järjestelmän spatiaalista erotuskykyä kohteiden havaitsemiseen, tunnistamiseen ja yksilöintiin vaadittavaan resoluutioon (luku 2.3 Erotuskyvyn merkitys). Tuloksena on saatu kunkin järjestelmän kyky eri kohteiden suhteen. Järjestelmien resoluutio on valittu parhaan mahdollisen resoluution mukaan.

Taulukko 4: Johnsonin kriteeristön mukaiset havainnoinnin tasot spatiaalisen resoluution mukaan

	KH-12	Araks	Su-24MR	SR-71
Resoluutio (m)	0,10	2,0	0,05	0,15
	Havaitsemisen taso			
Kohteet:				
Ilmatorjuntayksikkö (kuorma-auto)	tunnistaa	ei havaitse	yksilöi (tunnistaa)	tunnistaa
Hawk	yksilöi	havaitsee	yksilöi	yksilöi (tunnistaa)
Hornet	yksilöi	havaitsee	yksilöi	yksilöi (tunnistaa)
Tutka-asema	yksilöi	havaitsee	yksilöi	yksilöi
Kiito-, nousu-, rulla- us-, ja huoltotiet	yksilöi	havaitsee (tunnistaa)	yksilöi	yksilöi
Materiaalivarasto	yksilöi	havaitsee	yksilöi	yksilöi (tunnistaa)

Taulukkoon punaisella merkityt kohdat ovat vaadittavan resoluution raja-arvolla. Koska eri tasoihin vaadittavat resoluutiot ovat arvioita, voi tulos kallistua myös suluissa olevaan havainnoinnin tasoon.

Spatiaalisen resoluution osalta erot eivät ole kovinkaan suuria pois lukien 2 metrin resoluutiolla varustettu Araks-satelliitti. Se jää auttamatta jälkeen tukikohdan kohteiden tunnistamisessa. Araks havaitsee suurimman osan kohteista, mutta ei tunnista niitä. Pelkän havaitsemisen ja tulkitsijan arvioiden mukaan ei mielestäni voi tehdä johtopäätöksiä tukikohdan suorituskyvystä.

Kolme muuta järjestelmää ovat lähes samalla viivalla. Pienet erot havainnoinnin tasoissa eivät ole merkittäviä. Kaikki järjestelmät erottavat ilmatorjuntayksikön kuorma-autosta, hävittäjät toisistaan ja esimerkiksi tukikohdan huoltotiet ja rullaustiet eri tarkoitukseen käytettäväksi teiksi.

Hyvin matalalla lennettäessä kuvausala saattaa muodostua ongelmaksi. Jos tukikohta on 20 km x 20 km alueella, on mahdollista, että kone ei kykene kuvaamaan koko aluetta kerralla. Toisen ylilennon suorittaminen on erittäin riskialtista, joten siihen tuskin ryhdytään. Tässä tutkimuksessa kuitenkin oletetaan myös matalalla lentävän tiedustelukoneen pystyvän kuvaamaan kaikki merkitykselliset kohteet.

6.2 Käytettävyys

Eri järjestelmien käytettävyyttä on arvioitu niiden temporaalisen resoluution ja käytön riskien mukaan.

6.2.1 Temporaalinen resoluutio

Lasketaan satelliittien kiertoajat kaavasta:

$$T = \sqrt{\frac{4\pi^2 R^3}{GM}} = \sqrt{\frac{4\pi^2 (r+h)^3}{GM}}$$

missä G = gravitaatiovakio ($6,668 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg s}^2$)

M = maan massa ($5,977 \times 10^{24} \text{ kg}$)

R = radan säde (maan säde $r = 6370\,000 \text{ m}$ + ratakorkeus $h \text{ m}$)

$$T_{Araks} = \sqrt{\frac{4\pi^2 (6370000 \text{ m} + 1600000 \text{ m})^3}{6.668 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg s}^2} * 5,977 \cdot 10^{24} \text{ kg}}}$$

$$= 7100 \text{ s} = 120 \text{ min}$$

Kierrosaika on noin 120 minuuttia eli satelliitti voi pyyhkäistä saman alueen yli 12 kertaa

päivässä

$$T_{KH-12} = \sqrt{\frac{4\pi^2 (6370000 \text{ m} + 750000 \text{ m})^3}{6.668 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg s}^2} * 5.977 \cdot 10^{24} \text{ kg}}}$$

$$= 6000 \text{ s} = 100 \text{ min}$$

Kierrosaika on noin 100 minuuttia eli satelliitti voi pyyhkäistä saman alueen yli 14 kertaa päivässä.

Kiertoajat on laskettu ratojen keskikorkeuden mukaan. Ilmoitetun ratakorkeuden (Araks 1400–1800 km, KH-12 500-1000 km) mukaiset vaihteluvälit ovat Araks:lla 114-122 ja KH-12:lla 94-105 minuuttia.

Satelliittien ottamat kuvat lähetetään välittömästi maa-asemalle tiedonsiirtosatelliittien kautta. Tiedonsiirron viiveet ovat vähämerkityksisiä. Esimerkiksi Bosniassa otettu kuva välitetään satelliitin kautta Englantiin ja sieltä kaapelilla Yhdysvaltoihin ja edelleen takaisin Bosniassa toimiville joukoille. Kokonaisviive on 3-5 minuuttia [3].

Satelliittijärjestelmissä on usein useita satelliitteja, joten periaatteessa saman järjestelmän satelliitti voisi kulkea Suomen yli toisen ollessa maapallon toisella puolella. Näin kuvausväli puolittuisi. Suomi on kuitenkin pieni satelliitin toiminta-alueena, joten oletetaan, että Suomen alueelle ei kohdisteta kuin yksi kuvaussatelliitti.

Lasketaan Su-24MR ja SR-71 edestakaiset lentoajat määritetyistä tukikohdista kohteelle:

$$T = \frac{S}{v}$$

(Tukikohta A – 800 km

Tukikohta B – 500 km

Tukikohta C – 200 km)

$$T_{A_Su-24MR} = \frac{2 * 800 km}{2240 \frac{km}{h}} = 0,71h \approx 43 min$$

Samalla periaatteella lasketaan molempien koneiden lentoajat kaikista tukikohdista ja saadaan seuraavanlainen taulukko:

Taulukko 5: Tiedustelukoneiden lentosuoritusten kestoja

Lentoaika (min)	Su-24MR	SR-71
Tukikohta A	43	24
Tukikohta B	27	15
Tukikohta C	11	6
Tieto perillä mikäli tiedot välitetään datalinkillä (min)		
Tukikohta A	24	13
Tukikohta B	16	9
Tukikohta C	8	4
Suorituksia / päivä valmisteluineen		
Tukikohta A	13 (10)	17 (13)
Tukikohta B	16 (12)	19 (15)
Tukikohta C	20 (16)	24 (19)

Ensimmäisille riveille on laskettu edestakaisen lentomatkan kesto ja samalla tiedon saapumisajankohta lähtöhetkestä. Taulukkoon on lisäksi laskettu tiedonkulun kesto lähdöstä perille, mikäli data lähetetään linkillä maa-asemalle. Data lähetetään vasta oman alueen sisältä, jotta signaali ei paljastaisi tiedustelukoneen sijaintia ennen saapumista omalle alueelle. Tieto lähetetään tulkittavaksi noin 100 kilometrin päässä tukikohdasta. Näiden tietojen pohjalta on laskettu myös yhden koneen mahdolliset lentosuoritukset päivässä. Aikaan on laskettu mukaan yksi tunti tiedustelulentotehtävän valmistelua ja koneen käyttöhuoltoa. Sulkuihin on merkitty suoritusten määrä, mikäli koneiden käytettävyys on 80 prosenttia.

Taulukon ajat on laskettu koneiden teknisten huippunopeuksien mukaan. Luonnollisesti

jatkuva huippunopeuden käyttö ei ole mahdollista lentoonlähdössä eikä kohteella kuvatussa. Tästä johtuen todelliset ajat ovat todennäköisesti pidempiä.

Strategisilla koneilla, kuten SR-71 ei ole mielekästä lentää yksittäisiä tiedustelulentoja muutaman sadan kilometrin päähän, mutta ajat on laskettu taulukkoon vertailun vuoksi.

Taktisilla tiedustelukoneilla voidaan toimia myös pareittain, jolloin temporaalinen resoluutio voidaan teoriassa puolittaa. Jatkuva tämänkaltainen lentotoiminta on kuitenkin hyvin kuormittavaa, jopa parilla. Tiedustelulentokoneita ei välttämättä ole käytössä kuin muutama, joten useamman koneen käyttö yhteen kohteeseen ei ole järkevää. Tarvittaessa muista koneista voidaan varustaa lisää tiedustelukoneita, mutta niiden suorituskyky häviää varsinaisille tiedustelukoneille ja muunnos aiheuttaa yhden rynnäkkökoneen poistuman. Tiedustelulentokoneilla on usein myös omat ohjaajansa.

Tiedustelutiedon saatavuutta ajan suhteen voidaan verrata myös niin, että kuvitellaan tilanne, jossa todetaan tarve kuvatiedosta tukikohdan alueelta mahdollisimman nopeasti. Satelliiteilla viivettä tulee:

$T_{\text{araks}} = 0\text{-}122$ minuuttia

$T_{\text{KH-12}} = 0\text{-}105$ minuuttia

ja tiedustelulentokoneilla edellisen taulukon mukaisesti, tehtävän valmistelu huomioon ottaen.

Taulukko 6: Tiedustelutiedon viive tiedustelutehtävän antohetkestä tiedustelulentokoneilla

Lentoaika (min) + valmistelu 60 min	Su-24MR	SR-71
Tukikohta A	43+60=103	24+60=84
Tukikohta B	27+60=87	15+60=75
Tukikohta C	11+60=71	6+60=66
Tieto perillä mikäli tiedot välitetään datalinkillä (min)		
Tukikohta A	24+60=84	13+60=73
Tukikohta B	16+60=76	9+60=69
Tukikohta C	8+60=68	4+60=64

Tiedustelutiedon purkaminen koneesta tulkintaa varten kestää noin 5-15 minuuttia [24]. Tämä aika on lähes vastaava satelliittien tiedonsiirron viiveiden kanssa. Pienestä erosta johtuen tiedonsiirron viiveet jätetään huomiotta.

Vertailun yksinkertaistamiseksi tiedustelutiedon analysointiin kuluva aika käsitetään yhtä pitkäksi molemmilla tiedustelukeinoilla.

Kokonaisuutena esimerkkeinä käytettyjen satelliittijärjestelmien ja tiedustelulentokoneiden kyky kuvata sama alue uudelleen on lähes sama. Kuvaustiedustelusatelliiteilla päivittäisiä ylityksiä oli 12–14 ja lentokoneilla 10–19. Lentokoneiden kyky on todennäköisesti arvioitu osin optimistisesti. Vaikka lentokoneiden kyky on hieman parempi kuin satelliittien, on jo 15 lentosuorituksen tuottaminen päivässä erittäin kuormittavaa. Tällaista lentointensiteettiä ei pystytä ylläpitämään kovin kauaa. Suoritusten erona voidaan pitää säännöllisyyttä. Lentokoneet voidaan käskä kohteelle haluttuna ajankohtana, mutta satelliitit ylittävät kuvattavan kohteen säännöllisin väliajoin. Tilanteessa, jossa tietoa halutaan mahdollisimman nopeasti, lentotiedustelu osoittautui nopeammaksi valmistelun tarpeesta huolimatta. Toisaalta satelliiteilla on mahdollisuus käyttää edellisen ylityksen kuvausmateriaalia, joka on suhteellisen tuore. Lentotiedusteluyksiköllä ei välttämättä ole aikaisempaa materiaalia ollenkaan, tai se on jo vanhaa.

6.2.2 Järjestelmien käyttö ja riskit

Kuten edellisessä kappaleessa mainittiin, tiedustelusatelliitti kiertää radallansa säännöllisesti ylittäen saman alueen tietyin väliajoin. Satelliitin rataa voidaan muuttaa eri alueiden kuvaamiseksi. Tämä voi vaikuttaa myös kiertoaikaan, mutta satelliitteja voidaan seurata ja uusi rata ennakoida lyhyen seurausjakson jälkeen. Vaikka satelliitti ilmaantuu saman alueen ylle säännöllisesti, ovat mahdollisuudet vaikuttaa satelliitin kiertoon hyvin pienet.

Aseita, joilla tulevaisuudessa voidaan vaikuttaa satelliitteihin ja niiden toimintoihin ovat:

- kineettisen iskun voimalla maasta käsin vaikuttavat ASAT-aseet (Anti-SATellite weapon)
- avaruusmiinat, eli pienet satelliitit, jotka räjähtävät lähellä kohdetta
- ”älykkäät kivet” (brilliant pebbles), jotka ovat matalaradalla olevia pieniä satelliitteja, joiden on tarkoitus törmätä kohteeseensa
- erilaiset sädeaseet (laser, HPM)
- elektroninen häirintä

[27]

Näistä todennäköisimpiä ja jo mahdollisesti käytössä olevia ovat lentokoneesta ammuttavat infrapunaohjukset, joilla voidaan tuhota matalaradoilla toimivia satelliitteja ja elektroninen häirintä, jolla vaikutetaan maasta lähetettäviin satelliittien ohjaussignaaleihin eli telemetriasignaaleihin. [27]

Kuvaustiedustelusatelliitteihin vaikuttaminen on vaikeaa ja kallista. Täten satelliitteihin kohdistuva uhka on ainakin toistaiseksi pieni.

Tiedustelulentokoneilla tilanne on aivan toinen. Ne lentävät usein puolustetun alueen yli puolustetulle alueelle. Selviytyminen riippuu koneiden kyvystä pysyä huomaamattomina kunnes paljastuminen on tiedustelijan kannalta merkityksetöntä [2]. Nykyaikaiset valvontajärjestelmät tekevät tämän erittäin vaikeaksi. Siksi jokainen lentokoneella suoritettu tiedustelulento on tiedostettu riski. Pahimmassa tapauksessa menetetään tiedustelukone, ohjaaja ja tiedustelutieto. Kustannusvaikutus ei ole ongelma, mutta varsinkin länsimaissa tappionsietokyky on pienentynyt jatkuvasti. Koneiden miehittämättömyys ratkaisee vain osan ongelmasta.

6.3 Riippuvuus

Järjestelmien riippuvuutta verrataan olosuhteiden aiheuttamien rajoitusten perusteella.

Kuvausjärjestelmä ei kykene kuvaamaan pilven läpi näkyvän valon alueella. Pilvisyys tarkoittaa sitä, että 4/8 tai enemmän taivaankannesta on pilvien peitossa. Koska tilastot eivät anna tarkempaa määrittelyä erilaisista pilvisyysasteista, päätetään yli 50 prosentin pilvisyyden estävän tehokkaan kuvaustiedustelun satelliitin avulla. Strategisten tiedustelukoneiden rajoitukset ovat lentokorkeudesta johtuen samat kuin satelliiteilla.

Taktisten tiedustelulentokoneiden on mahdollista toimia myös pilvisissä olosuhteissa. Periaatteessa tiedustelulentokoneilla voidaan lentää minkälaisissa pilvisyysoloissa tahansa, mutta kuvaustiedustelua ei voida suorittaa kaikissa olosuhteissa. Jotta kuvaustiedustelu olisi tehokasta eli kuvausala saadaan riittävän suureksi, täytyy tiedustelukoneen nostaa korkeutta kohteen yllä kuvauksen ajaksi. Tässä tutkimuksessa onnistuneen tiedustelulennon edellytyksenä on 300 metrin pilvikorkeus tai korkeampi.

Tilaston mukaan Etelä-Suomessa on pilvistä (4/8 tai enemmän) 150 päivänä vuodessa. Jaetaan pilviset päivät niin, että 2/3 (=100 päivää) ovat syksyllä ja talvella ja 1/3 (=50 päivää) ovat keväällä ja kesällä. Syksyllä ja talvella pilvikorkeus on alle 300 metriä 30 - 40% sekä keväällä ja kesällä 10 - 20% pilvisistä päivistä koko Suomessa. Näistä rajoituksista lasketaan kuvauksen mahdollistavien päivien lukumäärä eri järjestelmillä.

Satelliitit ja SR-71:

$$\text{syksy ja talvi: } D_{1st} = \frac{365}{2} - 100 \approx 83$$

$$\text{kevät ja kesä: } D_{1kk} = \frac{365}{2} - 50 \approx 133$$

Su-24MR:

$$\text{syksy ja talvi: } D_{2st} = \frac{365}{2} - 0,35 * 100 \approx 148$$

kevät ja kesä:
$$D_{2kk} = \frac{365}{2} - 0,15 * 50 = 175$$

Edellä mainittujen tietojen perusteella voidaan muodostaa seuraavanlainen taulukko:

Taulukko 7: Kuvaustiedustelun mahdollistavat päivät eri järjestelmillä pilvisyyden mukaan

Kuvauksen mahdollistavat päivät	Satelliitit ja SR-71	Su-24MR	Ero
Syksyllä ja talvella	83	148	65
Keväällä ja kesällä	133	175	42
yhteensä	216	323	107
% vuodesta	59	88	29

Valoisuuden aiheuttamat rajoitukset ovat samat molemmille järjestelmille, joten niitä ei tarvitse verrata toisiinsa.

Kuvaustiedustelusatelliittien ja strategisen tiedustelukoneen rajoitukset eroavat tämän tarkastelun mukaan huomattavasti toisistaan. Todennäköisyys sille, että taktinen tiedustelukone pystyy suorittamaan kuvauslentotehtävän, on lähes 90 prosenttia. Tämä on erittäin korkea todennäköisyys ja antaa taktiselle tiedustelulle huomattavan edun satelliitti- ja korkealentotiedusteluun verrattuna.

6.4 Kustannusvaikutus

Eri järjestelmien kustannuksia on erittäin vaikea arvioida, eikä niitä yleensä julkaista missään. Järjestelmän elinjakokustannukset koostuvat yleensä tutkimus- ja kehitystyöstä (noin 5 %), hankinnasta ja valmistuksesta (noin 25 %) ja käyttökustannuksista (noin 70 %) [18].

Satelliittijärjestelmillä todennäköisesti tutkimus ja kehitys sekä hankinta ja valmistus ovat huomattavasti kalliimpia kuin tiedustelulentokoneilla. On arvioitu, että yksi avaruuteen lähetetty satelliitti maksaa radalle saattamiseen mennessä 25 000 dollaria per painokilo [1]. Tällä periaatteella Kh-12 satelliitin suunnittelu, hankinta ja radalle saattaminen maksaisivat 490 miljoonaa dollaria (19 600 kg). Jos järjestelmän, johon kuuluu kolmesta viiteen satelliittia, kokonaiskustannuksien on arvioitu olevan 2 miljardia dollaria, tuntuu arvio kohtuullisen hyvältä. Araks:n vastaava hinta olisi 65 miljoonaa dollaria (2600 kg).

Strategiset tiedustelukoneet ovat kalliimpia kuin taktiset koneet, koska ne ovat itsenäisiä projekteja. Taktiset tiedustelulentokoneet syntyvät useimmiten jo valmiista lentokone-malleista, jolloin kustannukset ovat huomattavasti pienemmät kuin strategisilla koneilla.

7 YHTEENVETO

Tässä tutkimuksessa on verrattu keskenään satelliittijärjestelmien ja matalalentotiedustelun kykyä tiedustella lentotukikohtaa valokuvien avulla. Periaatteessa tavoiteltava lopputulos molemmilla tiedustelutavoilla on sama: valokuva kohdealueesta. Järjestelmät eroavat toisistaan kuitenkin huomattavasti. Satelliitit kiertävät maata ja täyttävät tehtävää, joka niille on määritetty suurimmaksi osaksi jo ennen laukaisua kiertoradallensa, kun taas lentotiedusteluysikkö on aktiivisesti käskettävä osasto, joka suorittaa sille kulloinkin käsketyt tehtävät. Järjestelmien huomattava eroavaisuus aiheuttaa eroja myös tiedustelun kannalta.

Tiedustelun kannalta valokuvien resoluutio eli järjestelmän erotuskyky on huomattavassa roolissa. Järjestelmän tulee omata vähintään tietty erottelukyky, jotta otetuista tiedustelukuvista olisi jotain hyötyä. Esimerkkijärjestelmiä tarkasteltaessa voidaan huomata, että matalalentotiedustelulla saadaan parempi resoluutio kuin satelliittijärjestelmillä. Ero johtuu suurimmaksi osaksi etäisyydestä, jolta kuvia otetaan. Erottelukyvyyn erot osoittautuivat kuitenkin lähes merkityksettömiksi. Aikaisemman kokeellisen tutkimuksen perusteella lentotukikohdan kohteita kuvattaessa ei 0,05 metrin resoluutiolla saavuteta huomattavia etuja 0,10 metrin resoluutioon verrattuna. Taulukoista 1 ja 4 (sivut 9 ja 31) voidaan havaita, että eroja havainnoinnin tasossa esiintyy vasta, jos matalalentotiedusteluun verrattavan järjestelmän erotuskyky on 0,15-0,3 metriä. Suorituskykyisimmät kuvaustiedustelusatelliitit pääsevät todennäköisesti tämän rajan alle. Tällöinkään erot eivät ole mullistavia, mutta voivat jo vaikuttaa tiedustelun tuloksiin.

Toisin sanoen nykyaikainen satelliitti- ja valokuvaustekniikka pystyvät tuottamaan avaruudesta käsin valokuvia, joiden arvo tiedustelussa vastaa matalalentotiedustelun tuottamia tiedustelukuvia. Tämä edellyttää luonnollisesti huipputeknologiaa. Matalalentotiedustelun tuottamat kuvat ovat laadukkaampia ja niistä on todennäköisesti helpompi hankkia tarvittava tiedustelutieto, mutta teoriassa sama tieto voidaan saada myös pienemmän resoluution omaavista satelliittikuvista.

Tiedustelussa tulee aina ottaa huomioon ajan merkitys. Satelliitit kiertävät maapalloa tietyllä rytmillä ja lentokoneet käsketään kohdealueelle silloin kun se koetaan tarpeelli-

seksi. Kuvaustiedustelusatelliitit kiertävät maata tavallisesti niin, että ne ylittävät ja kuvaavat saman alueen noin 12-14 kertaa päivässä. Lentokoneilla pystytään haluttaessa tiedustelemaan sama alue jopa useammin. Tämä ei tiedustelun kannalta tuo välttämättä suurta lisäarvoa saatuun tiedustelutietoon. Molemmilla järjestelmillä pystytään kuvaamaan sama alue riittävän usein halutun tiedustelutiedon saamiseksi.

Ajallisesti ajateltuna satelliitti- ja matalalentotiedustelun ero on siinä, että satelliitin rata ja ylitykset voidaan ennustaa, lentosuorituksia ei välttämättä havaita ennen kuin on liian myöhäistä. Jos satelliitin rata ja ylitysajat tunnetaan lentotukikohdassa, pyritään tiedustelijaa harhauttamaan erilaisin keinoin. Toiminta voidaan keskeyttää, käyttää valemaaleja, tai tehdä toimia, jotka antavat väärää kuvaa lentotukikohdan tilasta tai kyvystä. Samat toimenpiteet käynnistetään myös, jos saadaan ennakkovaroitus tiedustelulentokoneesta. Tutkimuksen satelliittiesimerkkijärjestelmien kierrosajat olivat 100-120 minuuttia. Lentotukikohdan toiminnan kannalta se on erittäin lyhyt aika. Lentotukikohta ei voi tehdä harhauttavia toimenpiteitä ainakaan jokaisen ylityksen aikana tai sen päätehtävän suorittaminen vaikeutuu tai jopa estyy.

Jos tiedustelulentokone pääsee lentotukikohdan ylle huomaamatta, se saa kuvan siitä, mitä lentotukikohta sillä hetkellä oikeasti tekee. Lentokoneen saamassa kuvassa on todennäköisesti myös harhauttavia tekijöitä kuten valemaalit. Samat jatkuvat harhautustoimenpiteet päättyvät myös satelliittien ottamiin kuviin.

Tiedustelun ajallisen ulottuvuuden suhteen satelliitti ja matalalentotiedustelu eroavat toisistaan paljon. Mielestäni tämä ei kuitenkaan vaikuta oleellisesti itse tiedusteluun, jos se otetaan järkevällä tavalla huomioon. Satelliittien säännöllisyys ja ennustettavuus eivät ole ideaalisia tiedustelijan kannalta, mutta jos satelliitin kiertoaika on riittävän pieni, niiden merkitys pienenee. Tulee myös muistaa, että tiedustelulentosuoritukset eivät automaattisesti ole yllätyksiä tiedusteltavalle kohteelle. Tällöin lentotiedustelu kärsii samoista ongelmista kuin satelliittitiedustelu ja lisäksi riski menettää tiedusteluyksikkö kasvaa huomattavasti.

Satelliittien toimintaan vaikuttaminen on vaikeaa ja kallista. Siksi satelliittijärjestelmät ovat toistaiseksi suhteellisen turvassa. Tiedustelulentokoneisiin sen sijaan on helppo vaikuttaa. Lentotukikohtaan kuuluu joka tapauksessa ilmatorjuntaa oman toiminnan suo-

jaamiseksi. Ilmatorjunnalle tiedustelulentokone on samanlainen maali kuin rynnäkkökonekin. Lentotukikohdalla on siis kyky torjua tiedustelulentokoneita ilmatorjunnalla automaattisesti, eikä se vaadi erityistoimenpiteitä. Täten matalalentotiedustelulla on omat riskinsä. Nykyaikaisessa sodankäynnissä tappioita vältetään kaikin mahdollisin keinoin. Tärkeimpänä elementtinä on henkilöstö, mutta kustannusten vuoksi myös kalustomenetyksiä halutaan välttää. Tässä mielessä satelliittitiedustelulla on etulyöntiasema matalalentotiedusteluun verrattuna.

Ilmasto ja olosuhteet ovat suurin kuvaustiedustelua rajoittava tekijä. Ongelman syvyyttä vahvistaa sään ennakoimisen vaikeus. Vaikka ennustus lupaisikin kuvaustiedustelun onnistumisen edellyttämää säätilaa, voi pienikin muutos estää kuvauksen. Ilmaston merkitys korostuu erityisesti satelliiteilla, koska etäisyydet kuvattavaan kohteeseen ovat suuria. Suomessa voidaan lentää lähes kaikissa olosuhteissa, mutta matalalentotiedustelu vaatii tietyn pilvikorkeuden onnistuakseen. Käytettyjen tilastojen mukaan satelliittitiedustelu onnistuu noin 60 prosentin todennäköisyydellä, ja matalalentotiedustelu noin 90 prosentin todennäköisyydellä ilmasto-olosuhteiden näkökulmasta. Tämä ero on erittäin merkittävä. Matalalentotiedustelun kykenee tuottamaan informaatiota erittäin todennäköisesti. Lentotukikohdan tiedustelun tulee olla jatkuvaa ja useasti toistuvaa, jotta haluttu informaatio saataisiin käyttöön. Matalalentotiedustelun suorituskyky vastaa tätä vaatimusta, mutta satelliitin onnistumisprosentti ei ole riittävä jatkuvan informaation saamiseksi.

Satelliittiprojektit ovat huomattavasti kalliimpia kuin matalalentotiedustelun yksiköt. Tämä rajoittaa satelliittien määrää ja siten kuvaustiedustelukykyä. Jos satelliittijärjestelmiä on kuitenkin jo olemassa strategisen tiedustelun tarpeisiin, on satelliittitiedustelu itse asiassa kustannustehokkaampaa. Mikäli satelliittitiedustelu korvaisi taktisen lentotiedustelun, ei tiedustelulentokoneita tarvitsisi ollenkaan, joten kustannukset itse asiassa pienenesivät. Toisaalta voitaisiin myös verrata kannattaako matalalentotiedusteluun budjetoidulla rahalla parantaa satelliittien kuvausjärjestelmiä. Jos mietitään puhtaasti jommankumman järjestelmän perustamista, lentotiedusteluyksiköt tulevat paljon halvemmiksi.

Lopputuloksena voidaan sanoa, että lentotukikohdan kuvaustiedustelussa satelliiteilla ei voi korvata matalalentotiedustelua. Erotuskyvyllisesti järjestelmät ovat lähes samalla viivalla. Molemmilla järjestelmillä voidaan saavuttaa sama informaation taso. Ajallisesti

järjestelmät eroavat toisistaan, mutta en näe, että se vaikuttaisi merkittävästi tiedustelutiedon laatuun. Käytön riskit ja kustannukset kulkevat käsi kädessä ja ovat loppujen lopuksi käyttäjän kompromisseja. Ne vaikuttavat tiedustelutiedon määrään ja laatuun vain välillisesti. Matalalentotiedustelun korvaamattomuus johtuu Suomen ilmasto-olosuhteista. Satelliittien kuvaustiedustelu rajoittuu liian usein lentokoneisiin verrattuna. Satelliitit eivät siis pysty tuottamaan määrällisesti riittävästi informaatiota lentotukikohdasta. Matalalentotiedustelulla mielestäni tämä taso saavutetaan.

7.1 Herkkyysanalyysi

Kuvaustiedustelujärjestelmiä verrattiin toisiinsa suorituskyvyn, käytettävyyden, riippuvuuden ja kustannusvaikutusten avulla. Suorituskyvystä verrattiin internetistä kerättyjä suoritusarvoja ruotsalaisen Forskningsanstalten:in tutkimukseen, jossa oli etsitty vaadittavia spatiaalisen resoluution arvoja erilaisten kohteiden havainnointiin. Tutkimusta voidaan pitää luotettavana lähteenä ja soveltuvan hyvin myös suomalaiseen ympäristöön. Internetistä kerätyissä esimerkkijärjestelmien suoritusarvoissa saattaa kuitenkin olla virheitä. Arvot etsittiin useammasta eri kirjoittajan lähteestä, mutta itse kirjoittajien omia lähteitä ei tarkistettu. Löydetyistä suoritusarvoista käytettiin niitä, jotka esiintyivät useammin kuin kerran. Vaikka suoritusarvot olisivat erilaiset, ne tuskin muuttaisivat tutkimustulosta toiseen suuntaan. Tutkimuksessa tuli esille, että spatiaalisen resoluution merkitys lentotukikohtaa tiedustellessa tulee 0,3 metrin ja sitä suuremmilla resoluution arvoilla. Vaikka vertailtavien järjestelmien spatiaalisen resoluution virhe olisi 0,05 metriä, ei tutkimustulos muuttuisi nykyisestä. Tätä suuremmilla eroilla matalalentotiedustelu olisi etulyöntiasemassa ja tutkimustulos vahvistuisi entisestään.

Käytettävyydessä verrattiin tiedustelun ajallista ulottuvuutta. Ajankäyttöä ja sen kulumista on erittäin vaikea arvioida varsinkin lentosuoritusten kohdalla. Satelliittien kiertoajat perustuvat fysiikan lakeihin, jolloin niitä voidaan pitää luotettavina. Lentosuoritusten osalta tehtiin arvioita, kuinka paljon aikaa tiedusteluun kuluisi eri etäisyyksiltä. Etäisyydet ovat keksittyjä, mutta mikäli ne valittaisiin eri tavalla, lopputulos tuskin muuttuisi. Lentokoneita voidaan käyttää joustavasti tarpeen mukaan, jolloin niiden tarvitsema aikajänne on itse asiassa käyttäjän ohjailtavissa.

Eri menetelmien riskit ovat myös tiedustelevalle tahon päätettäviä asioita. Käytön riskejä

arvioitiin ainoastaan kirjoittajan omien näkökulmien mukaan. Eri kulttuureissa riskien ottaminen voidaan nähdä eri tavalla. Tiedustelun kannalta riski on se, että tiedustelutieto saattaa jäädä saamatta. Henkilöstön ja kaluston menetykset ovat vain välillisiä vaikutuksia. Kunkin tiedustelutapahtuman riskejä tulisi arvioida tapauskohtaisesti ja tässä tutkimuksessa niihin otettiin kantaa vain pinnallisesti.

Suurin tekijä tutkimustuloksen takana oli ilmasto. Samalla se on myös herkin osa tutkimusta. Säätilastot ovat peräisin suomalaisesta lähteestä, mutta niitä ei ole suunniteltu sotilaallista toimintaa tukevaksi. Toisin sanoen ne eivät kata kaikkia sääolosuhteita, jotka vaikuttavat kuvaustiedusteluun. Esimerkkinä voidaan pitää pilvikorkeutta, jonka tilastot eivät ole erityisen tarkkoja. Tilastojen luonteesta johtuen osa tutkimusta ohjaavista valinnoista tehtiin tilastojen kattavuuden perusteella. Toisaalta ilmaston rajoitukset pystyttiin mielestäni kuvaamaan järkevästi. Lentotiedustelun onnistumisen edellytykset oli helpompi määrittää, koska vain erityisen vaikeat olosuhteet rajoittavat sitä. Satelliittien osalta määrittäminen oli vaikeampaa. Satelliittitiedustelun onnistumisen edellytykseksi määritettiin, että puolet tai enemmän taivaankannesta tulee olla vapaana pilvistä. Raja on mielestäni kohtuullisen hyvä. Vaikka puolet taivaankannesta olisikin vapaana ja antaisi mahdollisuuden kuvaamiseen, olisi se huomattavasti epävarmempaa kuin kirkkaalla säällä. Toisaalta myös ero eri järjestelmien välillä oli niin suuri, että pienet muutokset tiedustelun onnistumisen edellytyksissä tuskin olisivat kääntäneet tutkimustulosta toiseen suuntaan.

Kustannusvaikutusten arviointi ei vaikuttanut tutkimustulokseen. Kustannusarviot ovat yksinkertaisen päättelyn tuloksia. Niistä ei tule tehdä mitään johtopäätöksiä.

7.2 Epätarkkuus

Suorituskyvyn arviointiin käytettyä Johnsonin kriteeristöä on kritisoitu nykyaikana paljon. Johnsonin kriteeristö on kehitetty 1950-luvulla, jolloin kuvauskalusto on ollut erilaista. Se ei kritiikin mukaan ota huomioon kaikkia nykyään käytössä olevia kuvauslaitteiden ominaisuuksia ja on epätarkka. Johnsonin kriteerin seuraajana pidetään TTP:a (Targeting task performance), joka soveltuu paremmin nykyaikaisen kuvauskaluston suorituskykyyn. Tässä tutkimuksessa käytettiin Johnsonin kriteeristöä sen yksinkertaisuuden takia.

Sitä on helppo soveltaa ja se on laajasti tunnettu menetelmä. Johnsonin kriteeri on epätarkempi kuin TTP, mutta soveltuu tutkimuksen vertailuun riittävän hyvin.

Järjestelmien käytettävyyden vertailu ei ole tarkkaa. Satelliittien kierto on säännöllistä ilman radan korjausta, mutta lentotiedustelujärjestelmien käyttö riippuu käyttäjästä. Tutkimuksessa valittiin eri etäisyyksiä, joilta kohteelle lennettiin. Arvioidut ajat ovat epätarkkoja, koska ne perustuvat lentokoneiden huippunopeuksiin. Koska lentotiedustelun ajallinen ulottuvuus riippuu kalustosta, sen määrästä ja ennen kaikkea sen käytöstä, ei tarkkoja arvoja voida laskea. Temporaalinen resoluutio voidaan kuitenkin todennäköisesti sovittaa niin, että se vastaa tarvittaessa satelliittien kiertoa.

Olosuhteita arvioitaessa käytettiin Suomen keskiarvojen mukaisia olosuhteita. Keskiarvojen käyttäminen johtaa väistämättä epätarkempaan lopputulokseen. Laskujen mukaan satelliiteilla ei voida kuvata 40 prosenttina päivistä vuodesta. Tämä todennäköisyys ei päde minä ajanhetkenä tahansa. Todennäköisyys vaihtelee vuodenaikojen mukaan. Keskimääräisillä säätilastoilla haluttiin nostaa esille matalalentotiedustelun kyky päästä pilvipeitteen alle kuvaamaan tukikohtaa. Järjestelmien välinen ero on selvä, mutta epätarkka.

Järjestelmien käytön riskit ja kustannusvaikutukset perustuvat lähinnä kirjoittajan omaan ajatteluun.

9 JATKOTUTKIMUSAIHEET

Matalalentotiedustelun korvaamattomuus johtuu ilmasto-olosuhteista. Tutkimuksessa käsiteltiin ainoastaan kuvaustiedustelua näkyvän valon alueella. Tämä alue on kaikista herkin ilmaston aiheuttamille rajoituksille. Seuraavaksi voisi tutkia miten muiden instrumenttien suorituskky vaikuttaa lopputulokseen. Infrapuna- ja tutkataajuusalueet mahdollistavat kuvauksen myös vaikeammissa ilmasto-olosuhteissa. Muiden sensorien käyttö voisi tasoittaa järjestelmien eroja.

Toisena jatkotutkimusaiheena voisi olla miehittämättömien ilma-alusten käyttö tiedustelussa. Onko niillä mahdollista saavuttaa jopa parempia tuloksia vai aiheuttavatko ne joi-
tain rajoituksia tiedustelun suhteen.

LÄHTEET

- [1] Fortescue Peter, Stark John, Swiner Graham. Spacecraft Systems Engineering, 3rd Edition, Wiley 2003. ISBN 0-470-85102-3
- [2] Gunston Bill, Reconnaissance aircraft, Salamander Books Ltd 1983. ISBN 0-86101-1775
- [3] Hallenberg Ilkka, Niinimäki-Heikkilä, Salonen Pasi. Häivetekniikasta: Katsaus Suomen Häivetekniikan nykytilaan ja kehitysnäkymiin. Puolustusvoimien Tutkimuskeskus, Julkaisuja B/3. Painohäme, Ylöjärvi 1998. ISBN 951-25-0970-9
- [4] Hellsten Eino, Heino Raino. Tilastoja Suomen ilmastosta 1961-1980. Ilmatieteenlaitos, Helsinki 1983
- [5] <http://en.wikipedia.org/wiki/KH-12>
- [6] http://en.wikipedia.org/wiki/SR-71_Blackbird#Sensors_and_payloads
- [7] http://en.wikipedia.org/wiki/Sukhoi_Su-24
- [8] http://fi.wikipedia.org/wiki/SR-71_Blackbird
- [9] <http://www.astronautix.com/craft/arkon1.htm>
- [10] <http://www.enemyforces.com/aircraft/su24.htm>
- [11] <http://www.globalsecurity.org/space/library/report/2005/satellitatables2004.doc>
- [12] <http://www.globalsecurity.org/space/systems/kh-12.htm>
- [13] <http://www.milavia.net/aircraft/su-24/su-24.htm>
- [14] <http://www.nasa.gov/centers/dryden/news/FactSheets/FS-030-DFRC.html>

- [15] <http://www.russianspaceweb.com/araks.html>
- [16] http://www.skyrocket.de/space/doc_sdat/araks.htm
- [17] <http://www.sr-71.org/blackbird/sr-71/>
- [18] Kosola Jyri, Solante Tero. Digitaalinen taistelukenttä, informaatioajan sotakoneen tekniikka. Maanpuolustuskorkeakoulu, Tekniikan laitos, Julkaisusarja 1, N:o 13. Oy Edita Ab, Helsinki 2000. ISBN 951-25-1149-4
- [19] Koukku Oskar. Lennokki- ja matalalentotiedustelu Suomen ilmasto-olosuhteissa, Kadettitutkielmat K 770. Maanpuolustuskorkeakoulu, 2003
- [20] Lappalainen Esa, Jormakka Jorma. Tekniset tutkimusmenetelmät Maanpuolustuskorkeakoulussa, Maanpuolustuskorkeakoulu, Tekniikan laitos, Julkaisusarja 5: Oppimateriaalit. Edita Prima Oy, Helsinki 2004. ISBN 951-25-1540-7
- [21] Lappalainen Esa, Maavoimiemme kuvaustiedustelun tekninen kehittäminen. Sotakorkeakoulun diplomityö 1989
- [22] Lillesand Thomas M, Kiefer Ralph W. Remote sensing and image interpretation, 4th edition. Wiley 2000. ISBN 0-471-25515-
- [23] Nyberg, Sten, Image resolution and information acquisition. Försvarets forskningsanstalt, Linköping 1991.
- [24] Pajari Antti. Luento: Hyökkääjän toiminta poliittissotilaallisen painostuksen ja SIETO-vaiheen aikana. Helsingissä 7.1.2008
- [25] Pisacane V.L. Fundamentals of Space Systems. Oxford University Press, New York 2005. ISBN 0-19-516205-6
- [26] Rusila Tuomo. Kaupallisten kaukokartoitussatelliittien käyttö kuvaustiedustelussa,

Kadettitutkielmat K 812, Maanpuolustuskorkeakoulu, 2004

- [27] Salminen, Esa. Satelliittien hyväksikäyttö puolustusvoimissa. Maanpuolustuskorkeakoulu, Tekniikan laitos, Helsinki 2000. ISBN 951-25-1173-8.
- [28] Tukikohtaopas. Ilmavoimien Esikunta, ohjesääntönumero 730. Edita Prima Oy, Helsinki 2007